

Aus dem Medizinischen Zentrum
für Zahn-/ Mund- und Kieferheilkunde
Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. med. dent. H. Korbmacher-Steiner

Aus der Abteilung für Kieferorthopädie
Direktorin: Prof. Dr. med. dent. H. Korbmacher-Steiner

des Fachbereichs Medizin
der Philipps-Universität Marburg

**Auswirkungen von Geschlecht, Alter und kieferorthopädischem
Befund auf Körperschwerpunkt und Standstabilität**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Stefan Groschopp aus Helmstedt

Marburg, 2017

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
13.03.2017

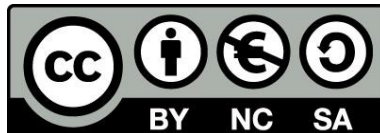
Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referentin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner

Korreferentin: Prof. Dr. Christine Knabe-Ducheyne

Originaldokument gespeichert auf dem Publikationsserver der
Philipps-Universität Marburg
<http://archiv.ub.uni-marburg.de>



Dieses Werk bzw. Inhalt steht unter einer
Creative Commons
Namensnennung
Keine kommerzielle Nutzung
Weitergabe unter gleichen Bedingungen
3.0 Deutschland Lizenz.

Die vollständige Lizenz finden Sie unter:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/de/>

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Kieferorthopädische Befunde	1
1.1.1 Okklusion und Okklusionsabweichungen	1
1.1.2 Skelettale Bisslage	2
1.1.3 Transversale Gebissanomalien	5
1.2 Grundlagen der Körperhaltung	6
1.2.1 Körperhaltung und Haltungstypen	6
1.2.2 Gleichgewicht und Körperschwerpunkt.....	8
1.3 Posturographie.....	10
1.3.1 Prinzip und Anwendungen.....	10
1.3.2 Historischer Rückblick	11
1.3.3 Heutige posturographische Registriersysteme	12
1.4 Stomatologisches System und Körperhaltung	13
1.4.1 Okklusion und Körperhaltung	13
1.4.2 Transversale Malokklusion und Körperhaltung	15
1.4.3 Sagittale Malokklusionen und Körperhaltung.....	17
2. Ziel der Studie und Fragestellung	18
3. Material und Methoden	19
3.1 Patientenkollektiv.....	19
3.2 Erhobene kieferorthopädische Befunde.....	20
3.3 Datenerhebung.....	21
3.3.1 Erfassung der Messdaten.....	21
3.3.2 Ablauf des Messzyklus	22
3.3.3 Erhobene Parameter der Messdaten.....	24
3.4 Statistische Analyse	27
4. Ergebnisse	28
4.1 Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse	28

4.2 Anamnestische Faktoren in Wechselwirkung mit dem Körperschwerpunkt	28
4.2.1 Patientenalter	28
4.2.2 Patientengeschlecht	29
4.2.3 Händigkeit	30
4.2.4. Skelettale Bisslage	30
4.2.5 Okklusion	31
4.2.6 Transversaler dentaler Befund	32
4.2.7 Unilateraler Kreuzbiss	33
5. Diskussion	35
5.1 Diskussion der Ergebnisse	35
5.1.1 Reliabilitätsanalyse.....	35
5.1.2 Korrelationsanalyse Alter und Messergebnisse	35
5.1.3 Gruppenunterschiede bezüglich des Patientengeschlechts	36
5.1.4 Gruppenunterschiede bezüglich der skelettalen und dentalen Bisslage	36
5.1.5 Der unilaterale Kreuzbiss in Wechselwirkung mit der Lage des Körperschwerpunktes.....	38
5.1.6 Der unilaterale Kreuzbiss in Wechselwirkung mit der Standstabilität	40
5.2 Diskussion der Methodik	40
5.2.1 Patientenselektion und Befunderhebung	40
5.2.2 Posturographie als Methode.....	41
5.2.3 Systematik des Messvorgangs	42
5.3 Klinische Konklusionen:	44
6. Zusammenfassung	45
7. Literaturverzeichnis	49
8. Anhang	61
8.1 Ergebnisse der Post-Hoc Analysen	61
8.2 Abkürzungsverzeichnis	62
8.3 Verzeichnis der akademischen Lehrer	63
8.4 Danksagung	64

1. Einleitung

Es gibt zahlreiche Überschneidungen zwischen den Feldern der allgemeinen Orthopädie, die sich mit der Körperhaltung beschäftigt, und der Kieferorthopädie. Dies spiegelt sich in klinischer Praxis und Forschung wider. Kausystem und Wirbelsäule sind sowohl anatomisch als auch funktionell miteinander verbunden [58] und Zusammenhänge zwischen den beiden werden seit Beginn des 20. Jahrhunderts diskutiert [47]. Mehrere Autoren fordern interdisziplinäre bzw. ganzheitliche Therapieansätze [34,68,98]. Dennoch fehlen bis heute aufgrund kontroverser Diskussionen in der Wissenschaft eindeutige Empfehlungen zur Konsultation eines Orthopäden bei bestimmten kieferorthopädischen Patienten [58], was den Anreiz zur vorliegenden Studie gab.

1.1 Kieferorthopädische Befunde

1.1.1 Okklusion und Okklusionsabweichungen

Als Okklusion wird jeder Zahnkontakt zwischen Ober- und Unterkieferzähnen bezeichnet. Die Schlussbisslage, die ein Mensch gewohnheitsmäßig einnimmt, ist die habituelle Okklusion und wird auch habituelle Interkuspidation genannt. Die Einteilung sagittaler dentaler Okklusionsabweichungen geht auf den US-amerikanischen Zahnarzt und Begründer der Kieferorthopädie Edward H. Angle zurück. Sie beruht auf der Annahme, dass der Oberkiefer in seiner sagittalen Position unbeeinflussbar ist und der erste obere Molar, als „Key of Occlusion“, in einer unveränderbaren und immer richtigen Position steht [3,23]. Diese Einteilung ist rein dental und richtet sich nach dem sagittalen Verhältnis des ersten unteren Molaren zu dem ersten oberen Molaren. Der Neutralbiss entspricht dabei einer Angle-Klasse I, der Distalbiss einer Angle-Klasse II (wobei hier eine zusätzliche Unterteilung in eine Klasse II₁ bei proklinierten Frontzähnen und eine Klasse II₂ bei reklinierter Front erfolgt) und der Mesialbiss einer Angle-Klasse III [49]. Um die Okklusionsabweichungen zu quantifizieren, werden die-

se in Abständen von Prämolarenbreiten zur Neutralokklusion angegeben [23]. Eine Übersicht über diese Einteilung gibt Abbildung 1.

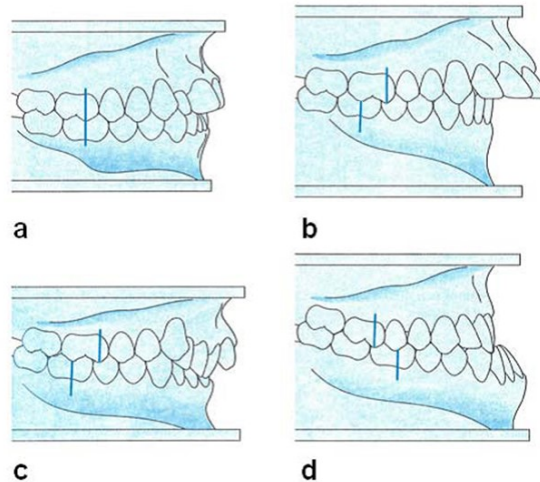


Abbildung 1: Angle-Klassifikation. a: Angle Klasse I = Neutralbiss, b: Angle-Klasse II₁ = Distalbiss mit proklinierter Front, c: Angle-Klasse II₂ = Distalbiss mit reklinierter Front, d: Angle-Klasse III = Mesialbiss [49].

1.1.2 Skelettale Bisslage

Im Gegensatz zu den Angle-Klassen, die rein dentale Malokklusionen beschreiben, gibt die skelettale Bisslage Auskunft über die knöcherne Relation von Maxilla und Mandibula im Gesichtsschädel. Sie wird kephalometrisch am Fernröntgenseitenbild (FRS) bestimmt. Für die Einteilung der skelettalen Bisslage sind folgende vier Referenzpunkte im FRS von besonderer Bedeutung (siehe auch Abbildung 2):

Sella:	Der konstruierte Mittelpunkt der knöchernen Kontur der Sella Turcica [49].
Nasion:	Der ventrokranialste Punkt der Sutura nasofrontalis.
A-Punkt:	Die tiefste Einziehung der ventralen Begrenzung des Alveolarfortsatzes der Maxilla.
B-Punkt:	Die tiefste Einziehung des Alveolarfortsatzes der Mandibula.

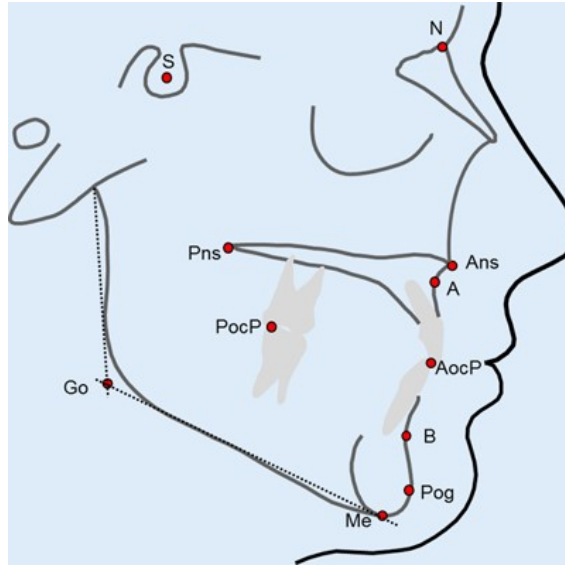


Abbildung 2: Beispiel der Lage von Sella (S), Nasion (N), A-Punkt (A) und B-Punkt (B) in der FRS-Analyse [55].

Durch die Relation der Verbindungslinien Sella - Nasion und Nasion - A-Punkt (SNA-Winkel) bzw. Nasion - B-Punkt (SNB-Winkel) lässt sich eine Aussage zur skelettalen Klasse treffen (siehe Abbildungen 3 A und B). Richtwerte für den SNA-Winkel betragen $82 \pm 2^\circ$, für den SNB-Winkel $80 \pm 2^\circ$ [49]. Die Differenz der beiden Winkel entspricht dem ANB-Winkel mit Richtwerten von $2 \pm 2^\circ$. Bei einer relativen Vorverlagerung des Unterkiefers (skelettale Klasse III) liegt ein verkleinerter ANB-Winkel, bei einer Rückverlagerung des Unterkiefers (skelettale Klasse II) ein vergrößerter ANB-Winkel vor.

Unabhängig von Strukturen der Schädelbasis stellt die Bestimmung des WITS-Wertes ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der sagittalen Kieferlagerrelation dar. Hier wird jeweils ein Lot vom A- bzw. B-Punkt auf die Okklusionsebene projiziert (siehe Abbildung 4). Der Abstand der Schnittpunkte der Lote mit der Okklusionsebene bildet den WITS-Wert mit Richtwerten von 0 ± 1 mm. Eine relative Ventralposition der Mandibula äußert sich daher in einem negativen, eine Dorsalposition in einem erhöhten WITS-Wert. Die Einteilungen in die skelettalen Bisslagerrelationen sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Richtwerte für die Einteilung in die skelettale Bisslage.

Einteilung	ANB-Winkel	WITS-Wert
Skelettale Klasse I	0°-4°	0-1 mm
Skelettale Klasse II	> 4°	> 1 mm
Skelettale Klasse III	< 0°	< 0 mm

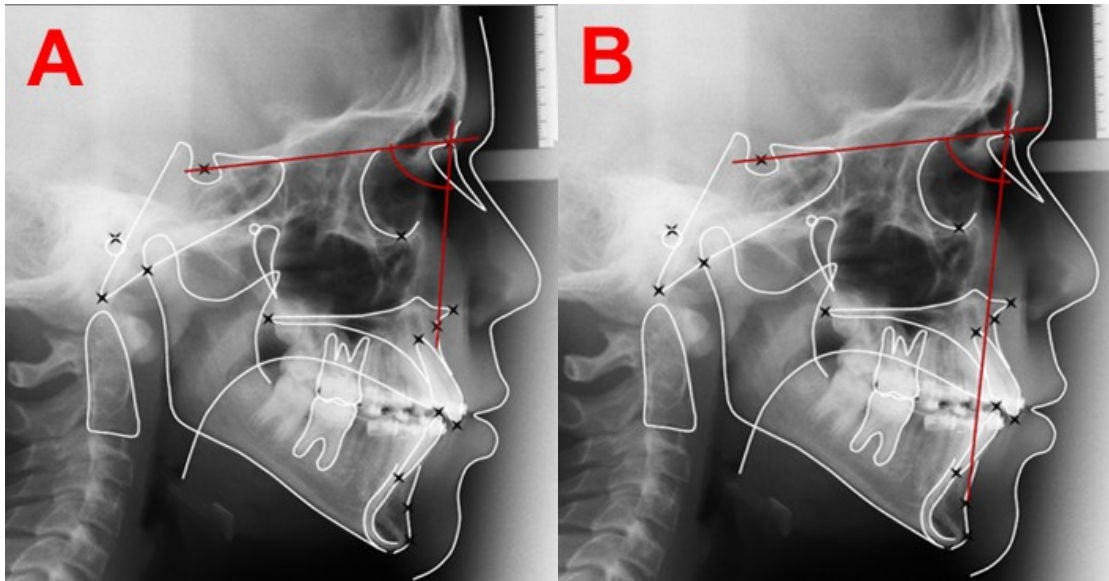


Abbildung 3: A: Der SNA-Winkel im FRS; B: Der SNB-Winkel im FRS [Quelle: Abteilung für Kieferorthopädie, Philipps-Universität Marburg]

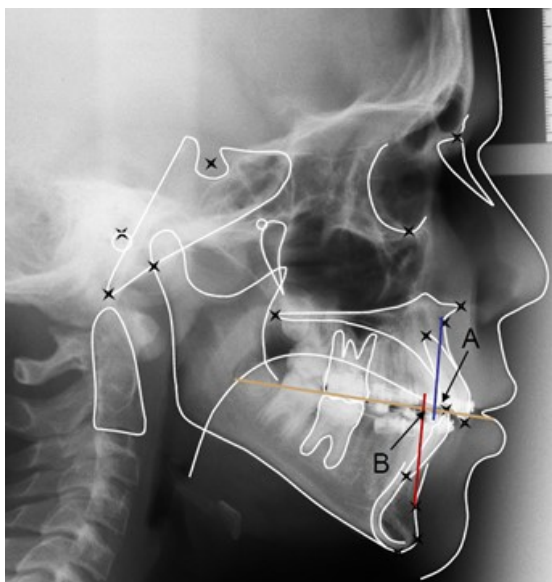


Abbildung 4: Bestimmung des WITS-Wertes im FRS [Quelle: Abteilung für Kieferorthopädie, Philipps-Universität Marburg].

1.1.3 Transversale Gebissanomalien

Der seitliche Kreuzbiss, der uni- oder bilateral auftreten kann, wird der Gruppe der transversalen Gebissanomalien zugeordnet. Regelrecht okkludieren die bukkalen Höcker der Unterkieferzähne in den zentralen Fissuren der Oberkieferzähne. Der seitliche Kreuzbiss stellt eine Okklusionsabweichung dar, bei der ein linguale Höcker des Unterkiefers Kontakt zu der zentralen Fissur seines Antagonisten im Oberkiefer hat [79]. Die Prävalenz in der Bevölkerung wird zwischen 7 und 23 % angegeben [2,52,53].

Ursache für die Entstehung eines Kreuzbisses ist oft eine transversal komprimierte Maxilla, welche aus genetischer Disposition, Umweltfaktoren oder einer Kombination aus beiden resultiert [70]. Häufige Umweltfaktoren sind z.B. ein Lutsch-Habit, ein viszerale Schluckmuster oder eine durch Obstruktion der oberen Atemwege verursachte Mundatmung [2,39,52,53,63,66,70,71,115].

Im Falle eines funktionellen unilateralen Kreuzbisses weicht der Unterkiefer in Schlussbisslage zu einer Seite ab, damit die Seitenzähne nicht in einer instabilen Kopfbisssituation okkludieren, wie es in zentrischer Kondylenposition der Fall wäre [66,103]. Diese nach lateral verschobene Unterkieferposition wird für den Patienten meist als angenehmer empfunden [70]. Dabei ist die Maxilla in der Regel symmetrisch ohne Abweichung von der skelettalen Mitte [53]. Diese Form ist mit 80 – 97 % der Fälle die häufigste Form eines seitlichen Kreuzbisses und tritt meist schon im Milchgebiss auf [2,97,106]. Die seitliche mandibuläre Schwenkung führt zu einer asymmetrischen Lage der Kondylen in den Fossae des Kiefergelenkes (zentrische Kondylenposition auf der Kreuzbissseite, nach anterior-kaudal verschobene Kondylenposition auf der kontralateralen Seite) [43], welche im Laufe der Entwicklung zu einem asymmetrischem Wachstum führen kann (vermindertes Wachstum der Mandibula auf der Kreuzbissseite und verstärktes Wachstum auf der kontralateralen Seite) [83]. Durch Adaptationsvorgänge der Hart- und Weichgewebe kann eine skelettal manifeste Gesichtasymmetrie resultieren [41,53,70]. Aus diesem Grund und durch die geringe Rate einer spontanen Selbstkorrektur von nur 0 – 9 % [106] bietet sich eine frühe und präventive kieferorthopädische Überstellung des

Kreuzbisses an, um eine asymmetrische Entwicklung zu vermeiden und den Patienten ein symmetrisches kraniofaziales Wachstum zu ermöglichen [66,79].

1.2 Grundlagen der Körperhaltung

1.2.1 Körperhaltung und Haltungstypen

Als Körperhaltung wird beim Menschen die Stellung des Körpers im aufrechten Stand bezeichnet. Sie wird über die Lagebeziehung der einzelnen Körperabschnitte zueinander definiert [7]. Verschiedene Körperteile sind an der Haltung beteiligt: besonders im aufrechten Stand nimmt die Form und Funktionsfähigkeit der Wirbelsäule eine wichtige Rolle ein. Eine Übersicht über eine physiologisch gebogene Wirbelsäule liefert Abbildung 5. Besonderen Einfluss haben weiterhin die Gelenke der unteren Extremitäten mit ihrer gewichtstragenden Funktion [7]. Eine physiologische Körperhaltung ist dadurch charakterisiert, dass sie mühelos und frei von Ermüdung oder Schmerz ist - sie kombiniert minimale muskuläre Anstrengung mit minimaler Belastung der Gelenke. Dabei reduziert sie den Energieumsatz und den Stress auf die haltungsunterstützenden Strukturen, die bei Bewegung auftreten [78]. Eine ausgewogene Relation von lumbaler Lordose und thorakaler Kyphose bildet die Voraussetzung für eine physiologische Körperhaltung (siehe Abbildung 6) [7].

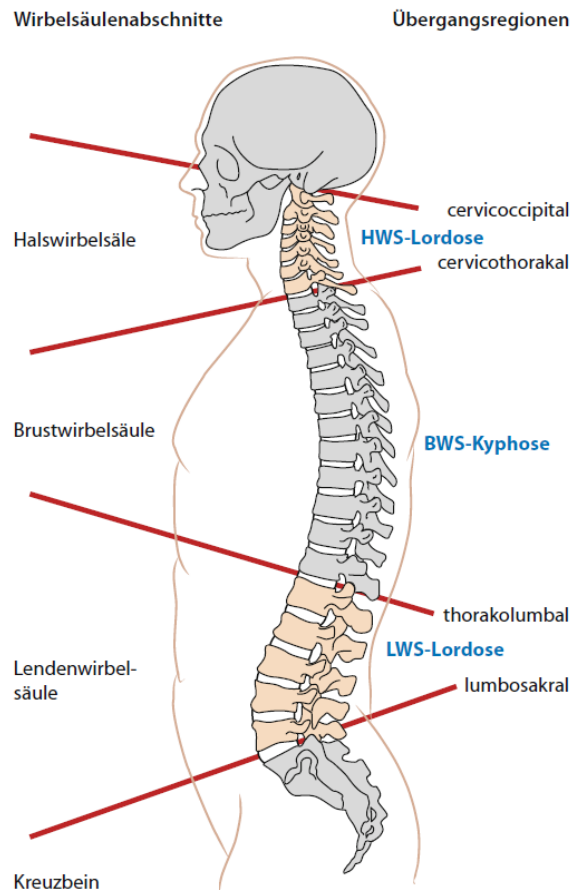


Abbildung 5: Physiologische Wirbelsäulenbiegungen. Den Lordosen der Hals- und Lendenwirbelsäule steht die Kyphose der Brustwirbelsäule gegenüber [7].

Die Körperhaltung ist in der Bevölkerung außerordentlich variabel verteilt, wobei sechs verschiedene Haltungsformtypen als „normal“ betrachtet werden (siehe Abbildung 6). Neben der physiologischen Haltung sind die thorakale Hyperkyphose (Rundrücken) und die lumbale Hyperlordose (Hohlkreuz) häufig zu sehen; die Kypho-Lordose (Hohlrundrücken), die Totalkyphose sowie der Flachrücken sind hingegen weit weniger häufig anzutreffen. Jedoch muss gesagt werden, dass vorgegebene Normen der Körperhaltung ein rein fiktives Konstrukt sind, das von keinem Menschen mit absoluter Deckungsgleichheit erreicht wird [7].

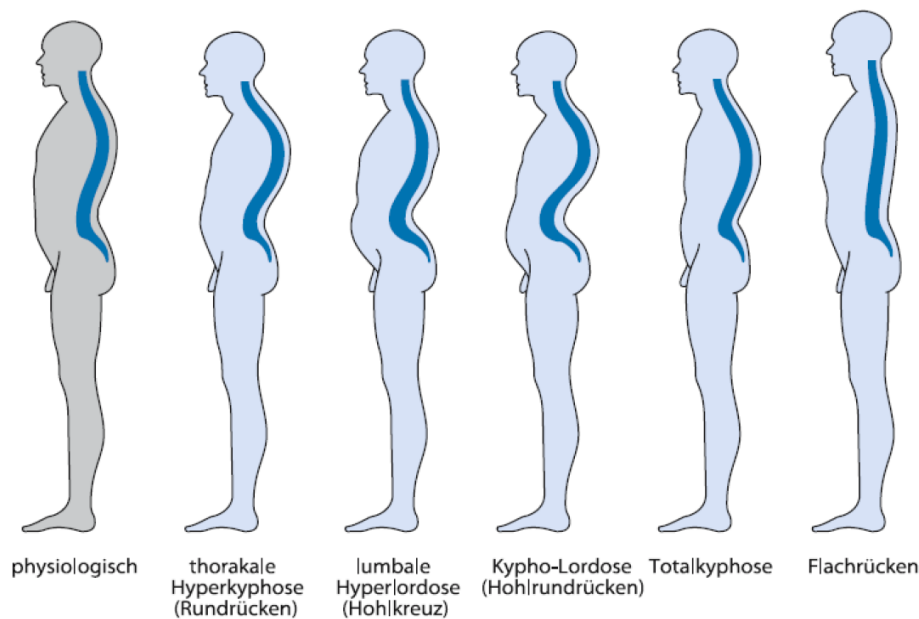


Abbildung 6: Varianten der normalen Körperhaltung im Überblick [60].

1.2.2 Gleichgewicht und Körperschwerpunkt

Als Körperhaltung wird auch die aktive Tätigkeit bezeichnet, bei der die ungleich verteilten Gewichte des Körpers im aufrechten Stand ausgeglichen werden [95]. Die Gleichgewichtskontrolle beschreibt alle Maßnahmen des Körpers gegen die Schwerkraft und gegen andere, von außen einwirkende Kräfte [7].

Das Besondere am zweibeinigen und aufrechten Stand ist, dass eine nur kleine Unterstützungsfläche unter den Füßen einen relativ hoch gelegenen Körperschwerpunkt (COG = Center of Gravity) balancieren muss. Dieser befindet sich auf etwa 55 % der Körperhöhe (in etwa zwischen dem zweiten Sakralsegment und dem fünften Lendenwirbel [78]) und stellt den Punkt dar, an dem sich der Körper ohne zu kippen im Gleichgewicht befindet [95]. Fällt man ein senkrechtes Lot durch diesen Körperschwerpunkt (COG) so erhält man die Schwerkraftlinie. Den physikalischen Gesetzen zufolge muss sich der Schnittpunkt dieser Linie mit der Standunterlage innerhalb der Unterstützungsfläche befinden, um den Körper stabil halten zu können [78]. Die Schwerkraftlinie verläuft im aufrechten Stand idealerweise hinter dem Ohr, durch die Wirbelkörper der Halswirbelsäule, durch das Schultergelenk, die Wirbelkörper der Lendenwirbelsäule, den Trochanter Major des Oberschenkels, anterior der Mittellinie des Knies und

durch den lateralen Malleolus (Außenknöchel) des Fußes [54,78]. Da die Gleichgewichtsleistung des Menschen ein aktiver Vorgang ist, finden ständig kleine oszillierende Ausgleichsbewegungen (Körperschwankungen, engl.: Postural Sway) statt, um den Stand aufrecht zu erhalten [96]. Sie bilden innerhalb bestimmter Grenzen das physiologische Phänomen der Haltungsregulation [96].

Die Bewegungen unterliegen dabei bestimmten reflexgesteuerten Regelkreisen. Als Messfühler dienen hierbei die Oberflächenrezeptoren der Fußsohle, die Propriozeption (Tiefensensibilität), das Vestibularorgan und das visuelle System [10]. Die Oberflächenrezeptoren der Fußsohle geben Informationen über den Untergrund und sind eng mit der Stützmotorik verknüpft [31]. Die Reize für die Propriozeption werden von Rezeptoren in den Muskelspindeln, den Golgi-Sehnen-Organen und Gelenken geliefert, und geben Informationen über die Stellung und den Spannungszustand von Muskulatur und Gelenken. Verarbeitet werden diese Informationen in Strukturen des Kleinhirns, den Basalganglien, dem Thalamus sowie im Cortex des Endhirns. Über den Kraftsinn wird dann das Ausmaß an Muskelkraft abgeschätzt, das für die Einhaltung der Gelenkstellung notwendig ist [31]. Das visuelle System ist mit seinen Distanzrezeptoren ebenso für die Standregulation zuständig. Informationen aus der Netzhautperipherie werden als Eigenbewegung gedeutet, während bewegte Reize im Zentrum des Gesichtsfeldes als Fremdbewegung gedeutet werden. Als besonders sensibles Gleichgewichtsorgan dient es dazu, die übrigen Regelkreise zu „eichen“ [10].

Visuelle Afferenzen werden zusammen mit vestibulären Afferenzen verarbeitet, um die Standmotorik zu beeinflussen [13]. Das Vestibularorgan im Innenohr informiert über Richtungs- und Beschleunigungsveränderungen des Kopfes und ist so für die Orientierung des Körpers im Raum zuständig. Es übernimmt beim Stehen sowie bei Bewegungen die führende Kontrolle und dominiert nahezu alle anderen Systeme des Gleichgewichts [31].

Die reflektorische Kette der muskulären Reaktionen, besonders in Bein- und Rumpfmuskulatur, die jeder Verlagerung des Körperschwerpunktes entgegenwirkt, um die Standstabilität zu gewährleisten, wird als „posturale Synergie“ be-

zeichnet [31]. Tonische Kontraktionen der Extensoren von Rumpf und Beinen, welche die abwechselnd nach vorn und hinten beweglichen Hüft-, Knie- und Fußgelenke überspannen, bilden die mechanische Grundlage der Haltungsstabilisierung. Wenn die Schwerkraftlinie vor der Achse der oberen Sprunggelenke der Füße zu liegen kommt, ist besonders eine Aktivität des M. triceps surae am Unterschenkel notwendig, um ein Überkippen nach vorne zu verhindern - in lateraler Richtung sorgt vor allem die Hüftmuskulatur für einen stabilen aufrechten Stand [10].

1.3 Posturographie

1.3.1 Prinzip und Anwendungen

Generell werden alle Verfahren der Haltungsanalyse als Posturographie bezeichnet. Hierbei stellt das in der vorliegenden Studie verwendete Messsystem ein indirektes Verfahren mit einer Druckmessplattform dar, welches zur Quantifizierung der Körperschwankungen dient (siehe Abschnitt 1.2.2) [96]. Durch software-gestützte Berechnung der Druckverteilung unter den Füßen wird der Druckmittelpunkt („Center of Pressure“ = COP) ermittelt. Er entspricht dem Zentrum der auf die Auflagefläche wirkenden vertikalen Kräfte [30]. Dieser ist nicht zu verwechseln mit dem eigentlichen Körperschwerpunkt (COG = „Center of Gravity“), der sich in etwa auf Höhe des fünften Lendenwirbels befindet (siehe Abschnitt 1.2.2). Bei langsamen Körperschwankungen entspricht der Druckmittelpunkt allerdings annähernd der Projektion des Körperschwerpunkts auf die Standfläche [10]. Daher wird der Druckmittelpunkt (COP) in der Posturographie dazu genutzt, um Lage und Bewegung des Körperschwerpunkts (COG) abzubilden [30]. Durch das Messverfahren lässt sich zum einen die Lage des Druckmittelpunktes und somit Aussagen über die Symmetrie des Standes bestimmen, zum anderen auch dessen dynamische Bewegung während der Messung aufzeichnen. Dies dient wiederum der Quantifizierung der Körperschwankungen, womit wiederum eine Aussage zur posturalen Stabilität getroffen werden kann.

Klinische Anwendungsfelder der Posturographie finden sich häufig in der Neurologie (z. B. zur Dokumentation vestibulospinaler Störungen und Verifizierung von Standataxien) und der Sportwissenschaft (z.B. zur Verlaufskontrolle und Beurteilung von Trainingseffekten auf Stabilität und Haltung) [96].

1.3.2 Historischer Rückblick

Die Anfänge posturographischer Registriersysteme reichen bis ins 19. Jahrhundert zurück. Der US-amerikanische Neurologe Silas Weir Mitchell entwickelte sein „Sway Meter“ (übersetzt: Haltungsschwankungs-Messgerät), das lediglich aus zwei senkrecht zueinander angeordneten Linealen auf einem höhenverstellbarem Stativ bestand [61,75]. Die Lineale wurden auf Kopfhöhe des Patienten eingestellt und die Schwankungen des Kopfes wurden während seines ruhigen Standes visuell abgelesen (siehe Abbildung 7).

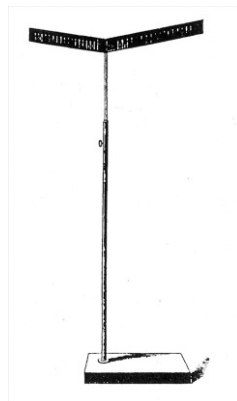


Abbildung 7: Sway Meter nach Silas Weir Mitchell [61].

Der Neurologe Charles Dana aus New York lieferte ebenfalls im späten 19. Jahrhundert die Weiterentwicklung zum „Ataxiagraph“. Der Unterschied zu Mitchells „Sway Meter“ war, dass die Bewegungen des Patienten graphisch aufgezeichnet werden konnten (siehe Abbildung 8 A und B) [44,61].

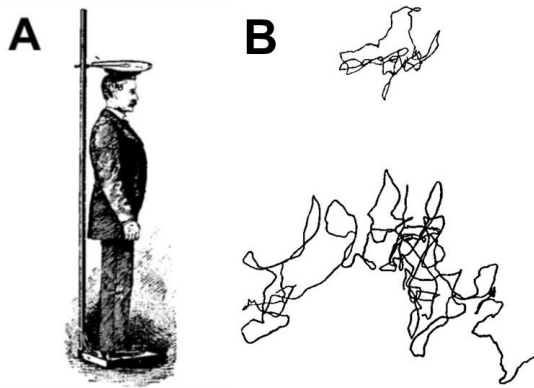


Abbildung 8: A: Ataxiograph nach Charles Dana [19]; B: Aufgezeichnetes Ataxiagramm [44,75]. Es wird hier eine physiologische (oben) mit einer pathologischen Körperschwankung (unten) verglichen.

Später wurde in der Posturographie der Fokus auf die Druckverteilung unter den Füßen gelegt. Abramson analysierte dabei Impressionen, die Patienten beim Stehen auf einer Bleiplatte hinterließen [1]. Diese Methode wurde durch Elftman 1934 weiterentwickelt, sodass die Druckverteilung an der Deformation von aneinandergereihten Gummipyramiden sichtbar gemacht wurde. Allerdings dienten alle diese Methoden lediglich einer qualitativen Druckverteilungsanalyse - eine Quantifizierung von Ergebnissen war damals nicht möglich [96].

1.3.3 Heutige posturographische Registriersysteme

Die heutigen posturographischen Messplattformen beruhen auf dem Prinzip kapazitiver Drucksensoren. Je nach Messsystem existieren verschiedene Arten dieser Sensoren. Meistens sind dies Kapazitätssensoren, die aus zwei Polymerplatten bestehen: eine davon mit Elektroden verbunden, die andere mit einem Halbleitermaterial beschichtet. Bei Druckausübung vergrößert sich deren Kontaktfläche, was in einer Änderung des elektrischen Widerstands und der Kapazität resultiert [15]. Andere Sensoren, die heute häufig eingesetzt werden, bestehen aus Piezokristallen, z.B. Bariumtitanat oder Quarz, welche die Eigenschaft besitzen, bei Druckeinwirkung mit proportionaler Änderung ihres elektrischen Widerstands zu reagieren [96]. Somit wird die Druckbelastung in ein elektrisches Signal umgewandelt, das anschließend mit Computerprogrammen weiter verarbeitet werden kann. Häufig in Klinik und Forschung eingesetzte posturographische Messsysteme sind unter anderem das Emed System der Firma

Novel (Deutschland), das Matscan der Firma Tekscan (USA), das Equitest-System der Firma NeuroCom (USA) [69,96] und die Zebris-Messplattform [26,36].

1.4 Stomatologisches System und Körperhaltung

1.4.1 Okklusion und Körperhaltung

In einem Review aus dem Jahr 2007 von Hanke et al. wurde berichtet, dass die Zahl der Publikationen, die sich mit zahnmedizinischen und orthopädischen Befunden beschäftigen, vor allem seit 1980 stark zugenommen hat [38]. Das große Forschungsinteresse an diesem interdisziplinären Ansatz (Orthopädie/Kieferorthopädie) lässt sich dadurch vermuten, da beim Zusammenbiss die Hals- und Wirbelsäulenmuskulatur mit der Kaumuskulatur co-kontrahiert [27]. Sensorische Afferenzen im mandibulären System werden durch propriozeptive Rezeptoren in den dento-alveolären Fasern und der Kaumuskulatur über den Nervus Trigeminus kontrolliert [32]. Neuroanatomisch ließen sich im Tierversuch an Ratten Verbindungen vom Trigeminusnerv zu verschiedenen Nuclei im Hirnstamm sowie zu allen Ebenen des Rückenmarks nachweisen [22,89]. Ebenso ließen sich Verbindungen zwischen trigeminalen und vestibulären Nuclei finden [14,82]. Dies ist relevant, da das vestibuläre System das wichtigste Gleichgewichtsorgan des menschlichen Körpers darstellt [31].

In verschiedenen Studien konnte bereits ein Zusammenhang zwischen Körperschwerpunkt und Okklusion nachgewiesen werden:

Bracco et al. zeigten, dass in myozentrischer Unterkieferposition am wenigsten Abweichungen des Körperschwerpunkts von der idealisierten, symmetrischen Position vorlagen [12]. Auch konnten signifikant stabilere Ergebnisse der Haltdynamik in zentrischer Okklusion nachgewiesen werden [12,42]. Am instabilsten waren meist lateralisierte (Kopf- oder Kreuzbiss-) Positionen, gemessen sowohl auf Druckverteilungsplattformen [32,91] als auch auf instabilen Balance-Plattformen [111].

Obgleich die meisten Studien einen Zusammenhang zwischen Okklusion und Körperhaltung aufzeigten, existieren auch Studien, die einen solchen Zusam-

menhang abstreiten [80,105]. Eine Zusammenfassung über bisher publizierte Studien zu dieser Thematik, die Posturographie als Untersuchungsmethode nutzten, liefert Tabelle 2.

Tabelle 2: Übersicht der posturographischen Studien zum Thema Okklusion und Körperhaltung.

Autoren	Jahr	Untersuchtes Merkmal	zahnmedizinisches Merkmal	Ergebnisse
<i>Bracco et al. [12]</i>	2004	Lage des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen	Myozentrische Mandibulaposition → am wenigsten Asymmetrie des Körperschwerpunkts
<i>Perinetti et al. [80]</i>	2006	Lage des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen	Kein Einfluss
<i>Baldini et al. [5]</i>	2013	Lage und Stabilität des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen	Stabiler in Ruhelage als in Okklusion
<i>Gangloff et al. [32]</i>	2000	Stabilität des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen	Am Stabilsten in zentrischer Okklusion, am instabilsten in lateralisierter Position
<i>Sakaguchi et al. [91]</i>	2007	Stabilität des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen	Am Stabilsten in zentrischer Okklusion, am instabilsten in lateralisierter Position
<i>Tardieu et al. [105]</i>	2009	Stabilität des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen	Kein Einfluss
<i>Hellmann et al. [42]</i>	2011	Lage und Stabilität des Körperschwerpunktes	versch. Mastikatorische Aufgaben	Weniger Schwankungen und Schwerpunkt weiter anterior bei kraftkontrolliertem Zusammenbiss verglichen zur Ruhelage
<i>Ferrario et al. [30]</i>	1996	Lage und Stabilität des Körperschwerpunktes	versch. Okklusions-Positionen und asymm. Angle-Klasse II	Kein Einfluss
<i>Perinetti et al. [81]</i>	2010	Lage des Körperschwerpunktes	versch. Malokklusionen	Kein Einfluss
<i>Michelotti et al. [73]</i>	2006	Stabilität des Körperschwerpunktes	unilat. Kreuzbiss	Kein Einfluss
<i>Ohlendorf et al. [79]</i>	2009	Stabilität des Körperschwerpunktes	unilat. Kreuzbiss	Kein Einfluss

1.4.2 Transversale Malokklusion und Körperhaltung

Von vielen Autoren wurde auch in der Kieferorthopädie der Zusammenhang von Malokklusionen und Körperhaltung untersucht. Der Bereich der lateralen Abweichungen, insbesondere des unilateralen Kreuzbisses, nahm dabei einen wesentlichen Fokus ein.

D'Attilio et al. zeigten im Tierversuch an Ratten, dass es nach künstlicher Kreuzbiss-Induktion (durch Kunststoff-Aufbisse) bereits nach einer Woche zur Ausbildung einer skoliotischen Wirbelsäule kam. Nach Wiederherstellung der transversal symmetrischen Okklusion kam es bei 83 % der Ratten zu einer spontanen Begradigung der Wirbelsäule [20].

Mehrere Studien konnten einen Zusammenhang zwischen unilateralem Kreuzbiss und Körperhaltung insofern herstellen, als dass bei orthopädisch auffälligen Patienten eine erhöhte Prävalenz von Kreuzbissen festzustellen war. Über diesen Zusammenhang (zwischen Kreuzbiss und Körperhaltung) herrscht eine überwiegende Übereinstimmung in der Fachliteratur [58]. Die zu diesem Zusammenhang am häufigsten untersuchte Erkrankung ist die Skoliose, welche Kreuzbiss-Prävalenzen zwischen 26 und 55 % aufweist [9,47,48,58,76]. Ebenso wurden vermehrt Kreuzbisse bei Patienten mit Morbus Scheuermann (juvenile thorakale Hyperkyphose, siehe auch Abbildung 6) [84], muskulärer Haltungsschwäche [84] und angeborener Hüftgelenksdysplasie [40] gefunden. Hirschfelder et al. konnten anhand von Foto- und Röntgenaufnahmen zeigen, dass bei schweren Wirbelsäulenskoliosen auch Schädelasymmetrien in Form von Gesichtsskoliosen vorkommen [45]. Vegh et al. stellten eine signifikante Häufung von Mittellinienverschiebungen bei Jugendlichen mit Morbus Scheuermann bzw. besonders erhöhte Werte der Mittellinienverschiebungen bei Jugendlichen mit Skoliose fest [108]. Lediglich Wachsmann et al. fanden in ihrer Untersuchung von 131 Skoliosepatienten kein gehäuftes Auftreten von Kreuzbissen [109].

Hinsichtlich der Schlussfolgerungen betrachten Prager, Müller-Wachendorff und Hirschfelder et al. den Kreuzbiss als eine Übertragung der Wirbelsäulenasymmetrie auf den Gesichtsschädel. Während Hirschfelder et al. trotz ungeklärter Mechanismen die Gesichtsskoliose als eine weitere Ausgleichskrümmung deu-

ten, sieht Müller-Wachendorff den Ursprung nicht in der Skoliose selbst, sondern in einer Schwäche des Binde- und Stützgewebes [45,58,76,84]. Unklar ist ein möglicher Zusammenhang zwischen der Kreuzbissseite und der Seite der Körperasymmetrie im Sinne einer Ausgleichskrümmung. Laut Zhou et al. korrelieren die Kreuzbissseite und die Seite der Krümmung der thorakolumbalen Wirbelsäule, während die Ausgleichskrümmung der Halswirbelsäule zur Gegenseite auftrat [114]. Prager fand keine Korrelation [84]. Im Studienkollektiv von Harila et al. schienen Kinder mit linksseitiger Hüftgelenksdysplasie den Kreuzbiss auf der Gegenseite, also rechts, zu entwickeln. Im Umkehrschluss konnte jedoch bei Kindern mit rechtsseitiger Hüftgelenksdysplasie keine Korrelation mit der Kreuzbissseite festgestellt werden [40].

Weitaus kontroverser wird in der Literatur im Umkehrschluss ein Einfluss eines kieferorthopädisch auffälligen Befundes auf die Körperhaltung diskutiert. Einige Studien zeigten gehäuftes Auftreten von Schulter- und Beckenschiefständen sowie Skoliosen und funktionellen Beinlängendifferenzen bei Patienten mit unilateralem Kreuzbiss oder Kiefer-Asymmetrien [59,64,68]. In einer Studie von Michelotti et al. konnte allerdings keine Korrelation von unilateralem Kreuzbiss und funktioneller Beinlängendifferenz gefunden werden [74]. Lippold et al. beschäftigten sich intensiv mit kieferorthopädischem Befund und der Wirbelsäulenmorphologie. Sie konnten Korrelationen von verschiedenen Parametern im FRS und dem sagittalen Wirbelsäulenprofil nachweisen [65]. Zhou et al. stellten bei Patienten mit seitlicher Abweichung der Mandibula einen linearen Zusammenhang zu Seite und Ausprägung von Schulterschiefstand und skoliotischer Wirbelsäulenkrümmung fest [114]. Dußler et al. konnten hingegen einen möglichen Zusammenhang zwischen der mandibulären Mittellinienverschiebung und orthopädischen Befunden (bezogen auf Asymmetrien von Schulter, Becken und Wirbelsäule) nicht bestätigen [25].

Für die Detektion möglicher Zusammenhänge zwischen Dysgnathie und Körperhaltung wurde auch die Methodik der Posturographie eingesetzt. Ähnliche Studien (wie in Abschnitt 1.4.1 beschrieben) stellten die Verbindung zum Fach-

gebiet der Kieferorthopädie her. Weder das Vorliegen einer Dysgnathie [81], noch ein unilateraler Kreuzbiss [73,79,81] oder eine asymmetrische Angle-Klasse II [30] führten grundsätzlich zu einer veränderten Lage [30,81] oder veränderter Stabilität des Körperschwerpunktes [30,73,79]. Auch die simulierte mittige Korrektur der mandibulären Schwenkung bei Kreuzbisspatienten zeigte keinen Einfluss auf die Messwerte [73].

1.4.3 Sagittale Malokklusionen und Körperhaltung

Schon seit den 1950er Jahren wurde von einer verstärkten Halswirbel-Lordose bei Patienten mit Angle-Klasse II [72] und einer eher kyphotischen Stellung bei Patienten mit einer Angle-Klasse III berichtet [6,34]. Diesen Zusammenhängen wurde jedoch von mehreren Autoren widersprochen [102,104]. So führten Hirschfelder et al. klinische Untersuchungen über Haltungsauffälligkeiten der Wirbelsäule in ihrer gesamten Länge durch und sahen Bisslageanomalien und Haltungsfehler der Wirbelsäule als im Wesentlichen voneinander unabhängige Entwicklungsstörungen an [46].

2. Ziel der Studie und Fragestellung

Obgleich in einigen Studien bereits ein Zusammenhang zwischen Dysgnathie und Haltungsauffälligkeiten nachgewiesen werden konnte, ist die Studienlage extrem heterogen und das Thema noch nicht abschließend geklärt.

Während mehrere Studien Veränderungen des Körperschwerpunktes nach therapeutisch veränderter Okklusion aufzeigten, war genau dieser Effekt in anderen Studien wiederum nicht nachweisbar. Bei einem Großteil der Studien wurden wichtige anamnestische Faktoren (wie Alter und Geschlecht der Probanden) nur unzureichend berücksichtigt, obgleich diese bei Nichtbeachtung zu statistischen Verzerrungen führen können. Aus diesem Grund wird in der Fachliteratur eine intensivere wissenschaftliche Forschung zu diesem Themenkomplex gefordert [38].

Ziel dieser Studie war es daher zu analysieren, ob das Vorliegen einer transversalen oder sagittalen Okklusionsabweichung Auswirkungen auf die Lage und Stabilität des Körperschwerpunktes hat. Zudem sollte untersucht werden, ob bisher nur unzureichend untersuchte Patientenfaktoren (wie chronologisches Alter und Händigkeit) einen signifikanten Einfluss auf die Messparameter besitzen.

3. Material und Methoden

3.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen dieser Studie wurden ausschließlich nicht-invasive posturographische Messungen in der Abteilung für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Marburg durchgeführt. Um eine möglichst breit gefächerte Kohorte zu untersuchen, wurden ebenfalls Daten von Patienten aufgenommen, die sich zu diesem Zeitpunkt noch nicht in einer laufenden kieferorthopädischen Therapie befanden. Die Studienteilnahme erfolgte freiwillig. Alle Patienten wurden vor der Durchführung über den Ablauf der Messungen aufgeklärt. Bei minderjährigen Patienten erfolgte die informierte Einwilligung durch deren Erziehungsberechtigte.

Ausschlusskriterien waren:

- angeborene Syndrome
- Schwindel
- Gleichgewichtsstörungen sowie temporäre Verletzungen (wie z.B. Kopf-/Wirbelsäulenverletzungen, Schleudertrauma, Zustand nach Frakturen an Extremitäten), die die Körperhaltung beeinflussen könnten.
- Neurologische Erkrankungen

Es wurden posturographische Messungen an insgesamt 151 Patienten durchgeführt: 67 Patienten (44,4 %) waren männlich, 84 weiblich (55,6 %). Das Alter der Probanden zu dem Zeitpunkt der Messung lag zwischen 4 und 34 Jahren, mit einem Altersdurchschnitt von $12,84 \pm 5,20$ Jahren. Im Gesamtkollektiv waren 136 Rechts- und 15 Linkshänder.

3.2 Erhobene kieferorthopädische Befunde

Alle kieferorthopädischen Befunde wurden von qualifizierten Zahnärzten in der Abteilung für Kieferorthopädie erhoben. Neben der klinischen Untersuchung und ausführlichen Anamnese, die bei allen Probanden durchgeführt wurde, wurden zusätzlich noch folgende Parameter ausgewertet:

Skelettale Bisslage

Die skelettale Bisslage (Klasse I, II und III) wurde anhand des aktuellsten vorliegenden Fernröntgenseitenbilds (FRS) bestimmt. Der WITS-Wert beschreibt die sagittale Bisslagerrelation zwischen Ober- und Unterkiefer (siehe Abschnitt 1.1.2). Der Normalwert liegt im Bereich zwischen -1 und +1. Ein niedriger Wert beschreibt eine Mesialbisslage, ein höherer Wert eine Distalbisslage.

Aus Gründen des Strahlenschutzes und in Anlehnung an die Leitlinien der DGKFO [21] wurde immer nur dann ein Röntgenbild angefertigt, wenn daraus eine therapeutische Konsequenz gezogen werden konnte. Die Einteilung der skelettalen Bisslage erfolgte daher bei 115 der 151 Studienpatienten (76,2 %). Ebenso wurde im Falle eines solchen vorliegenden FRS aus strahlenhygienischen Gründen auf die erneute Anfertigung weiterer Röntgenbilder zum Datum der Messung verzichtet, da eine solche Aufnahme keinen diagnostischen Vorteil für den Patienten gehabt hätte.

Dentale Bisslage

Die Bestimmung der dentalen Bisslage erfolgte anhand der klinischen Untersuchung oder an Situationsmodellen. Maßgebend für die Bestimmung der dentalen Bisslage war definitionsgemäß die Okklusion an den Sechsjahr-Molaren. Im Milchgebiss wurden die zweiten Milchmolaren bewertet. Abweichungen von der Regelverzahnung, die geringer als 0,5 Prämolarenbreiten (PB) waren, wurden der Angle-Klasse I zugeordnet. Lagen Abweichungen $\geq 0,5$ PB vor, führte dies zu einer Einordnung in die Angle-Klasse II bzw. III.

Transversaler dentaler Befund

Es wurde erhoben, ob Kreuzbisse, Bukkal-Okklusionen oder bukkale Non-Okklusionen im Seitenzahnbereich vorlagen. Die Gruppeneinteilung ist Tabelle 3 zu entnehmen. Wegen einer zu geringen Fallzahl (drei bzw. vier Patienten) wurden die beiden Befunde „bilateraler Kreuzbiss“ und „bukkale Nonokklusion“ nicht in die statistische Analyse einbezogen.

Tabelle 3: Einteilung der unterschiedlichen transversalen dentalen Befunde.

Transversaler Befund	Anzahl Patienten
Transversale Regelverzahnung	102
Unilateraler Kreuzbiss rechts	29
Unilateraler Kreuzbiss links	13
Bilateraler Kreuzbiss	3
Bukkale Nonokklusion	4

3.3 Datenerhebung

3.3.1 Erfassung der Messdaten

Die Erhebung der Messdaten erfolgte mit einer Druckverteilungs-Messplattform vom Model „FDM“ (FA zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland). Diese Plattform besteht aus kapazitiven Drucksensoren, matrixartig in benachbarten Spalten und Zeilen angeordnet, mit der Ortsauflösung 1 Sensor/cm². Stehen die Probanden auf der Plattform, so werden die Sensoren durch vertikal einwirkende Kräfte belastet. Softwaregestützt werden diese Kräfte in eine Druckverteilungsmatrix in der Einheit N/cm² umgerechnet.

Die Erfassung der Daten erfolgte in Anlehnung an bereits publizierte Vergleichsstudien mittels der Software „WinFDM-S 1.2.0“ (FA zebris Medical GmbH, Isny, Deutschland) [26,36]. In Verbindung mit der Messplattform ist das Programm in der Lage, Druckverteilungen über Zeit in sowohl statischer Stand- als auch in dynamischen Ganganalysen zu registrieren. Vor jedem Messzyklus wurde gemäß der Herstelleranweisung eine Nullmessung ohne Belastung der Plattform zur Kalibrierung durchgeführt.

3.3.2 Ablauf des Messzyklus

Alle Messungen wurden in der Abteilung für Kieferorthopädie des Universitätsklinikums Marburg durchgeführt. Vor Beginn der Studie wurde mittels einer Wasserwaage die Ebenerdigkeit des Untergrundes überprüft und für gut befunden. Vor jeder Messung wurden die Probanden gebeten, schwere Gegenstände aus Hosentaschen, Schmuck an Arm und Hals sowie Jacken abzulegen, um mögliche Faktoren, die zu einer Änderung der Gewichtsverteilung führen könnten, zu minimieren. Die Messungen auf der Messplattform erfolgten immer ohne Schuhe. Gemessen wurde ohne ein kieferorthopädisches Gerät im Mund, es sei denn, es war zum Messzeitpunkt fest einzementiert.

Zur Standardisierung der Standposition der Probanden wurden Markierungen auf der Messplattform angebracht, bestehend aus einer Mittellinie (rosa), zwei dazu parallelen Achsenlinien (weiß) im Abstand von jeweils 7 cm zur Mittellinie sowie einer dazu senkrechten Grundlinie (weiß) (siehe Abbildung 9).

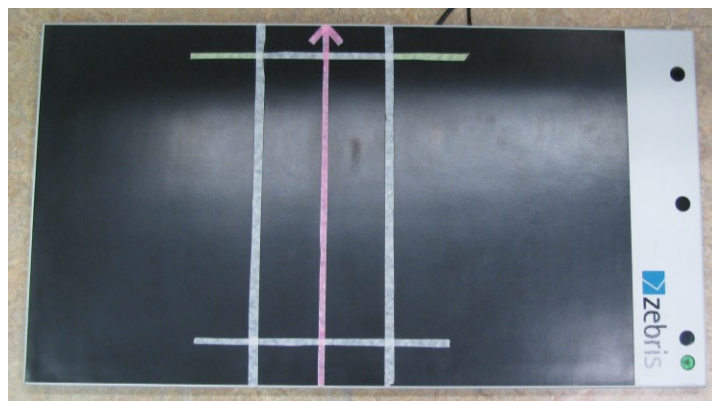
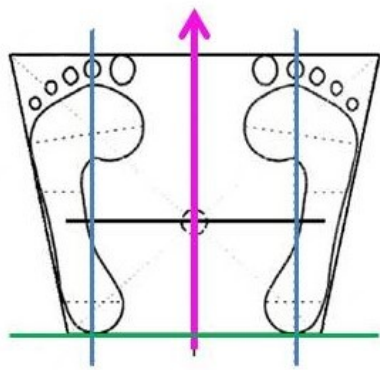


Abbildung 9: Markierungen auf der Messplattform. Mittellinie mit Pfeil (rosa), Achsenlinien (weiß), Grundlinie (weiß), gelbe Markierungslinie diente lediglich als Hilfslinie bei der Beschriftung.

Auf den Schnittpunkten der Achsenlinien mit der Grundlinie wurden die Rückseiten der Fersen der Patienten positioniert. Die Fußachsen wurden so ausgerichtet, dass vorne jeweils die zweiten Zehen jedes Fußes auf den parallelen Achsenlinien rechts und links zu liegen kamen. Hinten wurde der laterale Mittelpunkt der jeweiligen Fersen auf den Achsenlinien positioniert (siehe Abbildungen 10, 11 A und B).



Rosa: Mittellinie

Blau: Achsenlinien, entsprechen weißen Markierungen

auf Messplattform

Grün: Grundlinie, entspricht weißer Markierung auf Messplattform

Abbildung 10: Achsenpositionierung der Füße [Quelle: zebris Medical GmbH: *WinFDMS Bedienungsanleitung*: p. 14] (Bild nachbearbeitet).

Die Probanden schauten in Richtung des auf der Messplattform markierten Pfeils (siehe Abbildung 9), sodass bei allen Messungen die Beschriftungsseite der Messplattform in Blickrichtung rechts war. So wurde gewährleistet, dass bei den erhobenen Messdaten der Probanden stets die gleichen Messbedingungen vorlagen. Die Notwendigkeit einer solchen akkuraten und standardisierten Position der Füße als fundamentale Grundlage zur Vergleichbarkeit von Messungen wurde bereits von Baldini et al. [4] und von Ruhe et al. [90] nachgewiesen.

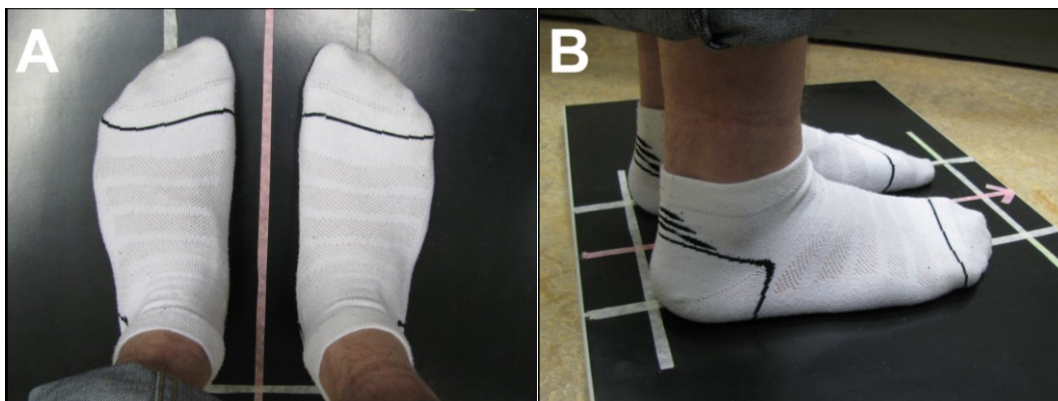


Abbildung 11: Positionierung der Füße. A: Ansicht von kranial; B: Ansicht von lateral

Die Probanden wurden entsprechend den Empfehlungen von Ruhe et al. [90] gebeten, aufrecht, gerade, aber trotzdem entspannt mit locker an den Seiten herunterhängenden Armen auf der Plattform zu stehen. Die Kopfposition folgte dem Vorbild der Frankfurter Horizontalen. Außerdem wurden die Probanden

gebeten, ohne Zwang und bei entspanntem Mundschluss (falls möglich) ihre habituelle Interkuspitation einzunehmen.

Die Patienten bekamen für die erste Messung eines Zyklus die Anweisung, in dieser Position geradeaus zu schauen und einen Punkt an der gegenüberliegenden Wand in Augenhöhe zu fixieren, um Augenbewegungen und damit Schwankungen während des Messvorgangs zu vermeiden. Bei der zweiten Messung eines Zyklus wurden die Patienten entsprechend den Empfehlungen von Ruhe et al. [90] gebeten, die Augen zu schließen, um eine Entkopplung des optokinetischen Systems zu erreichen.

Nachdem die Standposition kontrolliert war, wurde die Messung gestartet. Ein Messvorgang dauerte zehn Sekunden. Der Bildschirm des Messcomputers war für die Probanden während des Messzyklus nicht einsichtig.

Um die intra-operator Reliabilität beurteilen zu können, erfolgte bei genau 60% aller Studienpatienten ein zusätzlicher doppelter Messzyklus mit den jeweils gleichen Bedingungen direkt nach dem ersten Messdurchgang, so wie es in Referenzstudien gefordert wurde [4,73,81].

3.3.3 Erhobene Parameter der Messdaten

Aus der vom Programm erfassten prozentualen Belastungsverteilung der Füße wurde der Druckmittelpunkt errechnet, der dem in die Horizontalebene projizierten Körperschwerpunkt entspricht. Dieser wurde vom Programm als Koordinate auf der Transversal-Achse (laterale Ausrichtung, bzw. von links nach rechts) und auf der Sagittal-Achse (anterio-posteriore Ausrichtung bzw. von vorne nach hinten) angegeben. Die Werte sind Abweichungen (in Millimetern) von Referenzlinien (im Folgenden detailliert erklärt).

Bei der transversalen Koordinate gab ein positiver Wert eine Abweichung nach rechts, ein negativer Wert eine Abweichung nach links an. Wegen der sich während der Messung laufend ändernden Druckverteilung ist der vom Programm ausgegebene Körperschwerpunkt der Mittelwert über den Messzeitraum.

Die Körperschwankungen wurden als dynamische Strecke, die der Körperschwerpunkt während jeder Messung zurücklegte, in mm erfasst. Sie sind ein

Maß für die Standstabilität, wobei geringe Körperschwankungen einem stabilen Stand entsprechen (siehe Tabelle 4).

Ein Beispiel für den Report der erhobenen Parameter von WinFDM-S für jede einzelne Messung liefern Abbildungen 12 und 13.

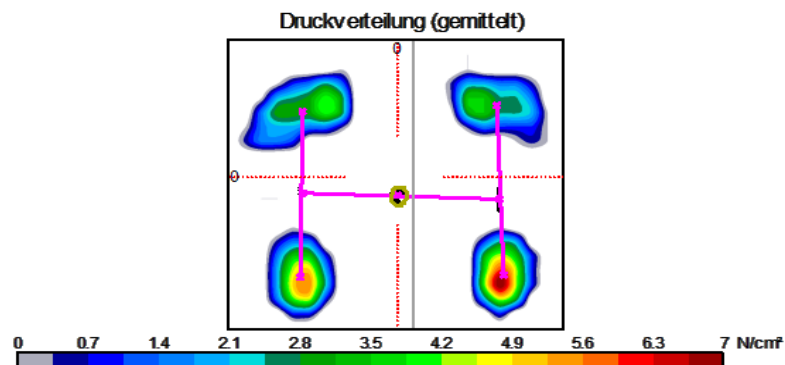


Abbildung 12: Muster für die graphische Darstellung der Druckverteilung im Report von WinFDM-S.

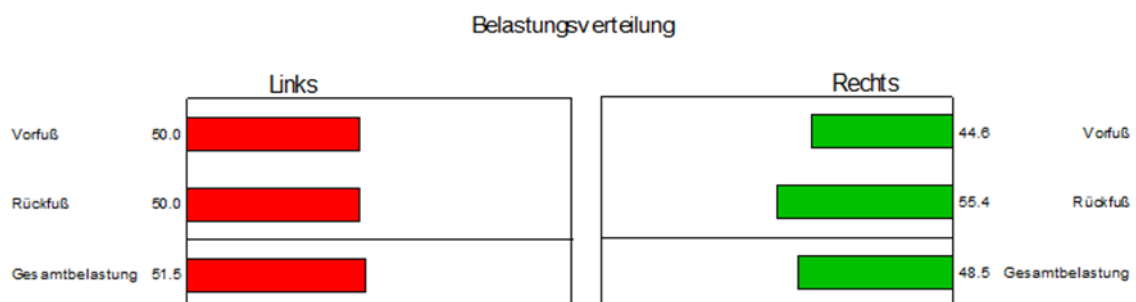


Abbildung 13: Muster der Belastungsverteilung der Füße im Report von WinFDM-S.

Die vom Programm voreingestellte Trennungslinie für Vor- beziehungsweise Rückfuß wurde für die Vorbereitung des Reports der Daten für jede Messung manuell definiert bzw. korrigiert (siehe Abbildung 14).

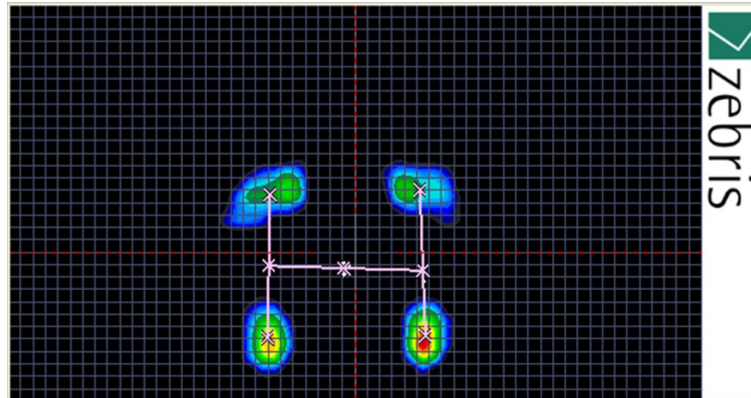


Abbildung 14: Beispiel für manuelle Definition der Vor- und Rückfüße. Die horizontale gestrichelte rote Linie wurde zwischen die Belastungsauflagen von Vor- und Rückfuß gelegt.

Im Report von WinFDM-S wird der Abstand des Körperschwerpunktes in mm in transversaler und sagittaler Richtung ebenfalls von Referenzlinien bestimmt. Die Mittellinie in transversaler Richtung (laterale Position) wurde bei allen Messungen wegen nicht exakter Positionierung der Mittellinie auf der Plattform (rosa Markierung, siehe Abbildung 9) um 8 mm nach links von der vom Programm voreingestellten Referenz korrigiert. Für den Abstand des Körperschwerpunktes in antero-posteriorer Richtung (sagittale Position) wurde der am meisten posterior gelegene Sensor als Referenz wegen des einheitlichen Abstandes zu den Fersen der Probanden (3 cm) gewählt (siehe Abbildung 15).

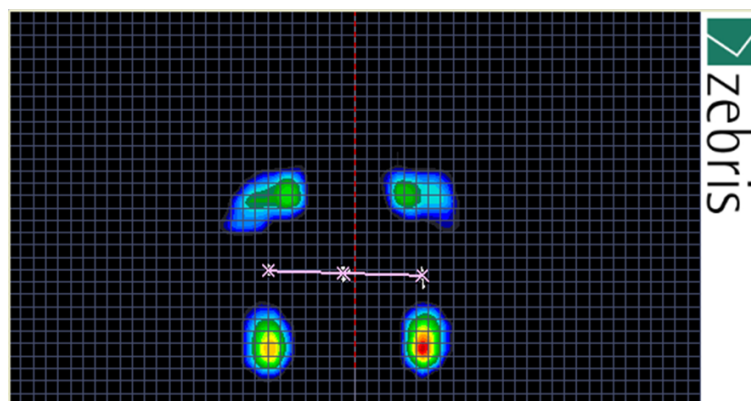


Abbildung 15: Manuelle Korrektur der Referenzlinie für den Y-Abstand des COP an die am meisten posterior gelegenen Sensoren (vergleiche Abbildung 14).

Zuletzt wurden zusätzlich für alle Werte der transversalen Koordinate des Körperschwerpunktes die Beträge gebildet. So wäre z.B. eine um 3 mm große

Abweichung nach rechts einer um 3 mm großen Abweichung nach links gleichwertig. Diese Betragsbildung dient einer Quantifizierung der Abweichungen von der Mitte im Sinne eines Asymmetrie-Indexes, wobei hier ein niedriger Wert einer ausgewogenen, symmetrischen Belastungsverteilung entspricht.

Eine Übersicht über die erhobenen posturographischen Messparameter liefert Tabelle 4.

Tabelle 4: Erhobene Messparameter und ihre Einheiten.

Messparameter	Erläuterung	Einheit
Abstand des Körperschwerpunktes in der Transversalen	Position links - rechts	mm
Abstand des Körperschwerpunktes in der Sagittalen	Position vorne - hinten	mm
Körperschwankung	Dynamische Strecke	mm
Asymmetrie Index	Betrag des transversalen Abstandes	mm

3.4 Statistische Analyse

Alle statistischen Analysen wurden in SPSS Statistics Version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA, 2009) durchgeführt. Die intra-operator-Reliabilität wurde mit Hilfe des „Intraclass Correlation Coefficient“ (ICC) errechnet. Alle Messparameter wurden anhand des Kolmogorow-Smirnow-Testes und grafischer Auswertung auf Normalverteilung überprüft. Bei signifikanter Abweichung von einer Normalverteilung wurden im Anschluss nichtparametrische Testverfahren angewandt, ansonsten kamen parametrische Tests zum Einsatz. Für alle statistischen Auswertungen wurde das Signifikanzniveau auf $p < 0,05$ festgelegt.

4. Ergebnisse

In allen folgenden Ergebnistabellen sind statistisch signifikante Werte ($p < 0,05$) mit einem Sternchen (*), hoch signifikante Werte für $p \leq 0,01$ mit (**) und höchst signifikante Werte für $p \leq 0,001$ mit (***) hervorgehoben. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind die Ergebnistabellen der Post-Hoc Analysen im Anhang (Abschnitt 8.1) aufgeführt.

4.1 Ergebnisse der Reliabilitätsanalyse

Um die Verlässlichkeit der Messungen zu beurteilen, wurde der Intraclass Correlation Coefficient (ICC) für jeden Messparameter berechnet. Alle Variablen zeigten eine gute Übereinstimmung mit einem ICC zwischen 0,71 und 0,95 (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Statistische Ergebnisse für den Intraclass Correlation Coefficient.

	Messparameter	ICC
Augen geöffnet	Körperschwerpunkt transversal	0,81
	Körperschwerpunkt sagittal	0,95
	Körperschwankung	0,82
Augen geschlossen	Körperschwerpunkt transversal	0,71
	Körperschwerpunkt sagittal	0,94
	Körperschwankung	0,88

4.2 Anamnestische Faktoren in Wechselwirkung mit dem Körperschwerpunkt

4.2.1 Patientenalter

Das Patientenalter hatte sowohl bei geöffneten als auch bei geschlossenen Augen einen höchst signifikanten Einfluss auf die antero-posteriore Position des

Körperschwerpunktes ($r > 0,55$; $p < 0,001$), wobei ältere Patienten zu einer signifikant weiter anterioren Lage zur Referenzlinie neigten (siehe Tabelle 6). Ältere Patienten zeigten zudem eine signifikant höhere Standstabilität ($r < -0,51$; $p < 0,001$). Weiterhin hatten ältere Patienten bei der Messung mit geschlossenen Augen tendenziell eine schwach signifikante ($p < 0,04$) eher linksseitige Lage des Körperschwerpunktes, wobei der Korrelationskoeffizient hier nur sehr gering war ($r = -0,17$) (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Statistische Ergebnisse der Pearson-Korrelation bzw. Spearman-Rho-Korrelation zwischen Alter der Probanden und den Messparametern.

	Messparameter	Korrelationskoeffizient	Signifikanz p
Augen geöffnet	Körperschwerpunkt transversal	-0,074	0,369
	Körperschwerpunkt sagittal	0,553	0,001***
	Körperschwankung	-0,506	0,001***
	Asymmetrie	-0,048	0,555
Augen geschlossen	Körperschwerpunkt transversal	-0,171	0,036*
	Körperschwerpunkt sagittal	0,578	0,001***
	Körperschwankung	-0,573	0,001***
	Asymmetrie	-0,054	0,513

4.2.2 Patientengeschlecht

Die sagittale Lage des Körperschwerpunktes zeigte höchst signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen sowohl bei der Messung mit geöffneten als auch mit geschlossenen Augen ($p < 0,001$, mittlere Differenz: 13,6 mm bei geöffneten bzw. 12,7 mm bei geschlossenen Augen, siehe Tabelle 7). Männliche Patienten neigten zu einem weiter anterior liegenden Körperschwerpunkt. Bei geschlossenen Augen hatten die männlichen Probanden eine signifikant niedrigere Standstabilität als die weiblichen ($p = 0,042$, mittlere Differenz: 10,5 mm, siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Statistische Ergebnisse des T-Tests für unabhängige Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U-Tests für den Gruppenvergleich zwischen männlichen und weiblichen Probanden.

	Messparameter	Signifikanz p	Mittelwert ± Standardabweichung in mm	
			männlich	weiblich
Augen ge- öffnet	Körperschwerpunkt transversal	0,085	-0,98 ± 10,75	1,65 ± 7,89
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	104,26 ± 25,27	90,67 ± 22,07
	Körperschwankung	0,162	87,20 ± 46,7	85,64 ± 64,52
	Asymmetrie	0,769	7,78 ± 7,42	6,43 ± 4,81
Augen ge- schlossen	Körperschwerpunkt transversal	0,214	-0,39 ± 9,09	1,26 ± 7,18
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	104,95 ± 22,26	92,30 ± 22,04
	Körperschwankung	0,042*	125,21 ± 71,86	114,68 ± 90,14
	Asymmetrie	0,587	6,83 ± 5,96	5,78 ± 4,40

4.2.3 Händigkeit

Die Händigkeit hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Messergebnisse. ($p > 0,13$).

4.2.4. Skelettale Bisslage

Die Standstabilität bei geschlossenen Augen unterschied sich hoch signifikant zwischen den unterschiedlichen Gruppen (Klasse I, II, III) ($p < 0,01$; siehe Tabelle 8).

Nach Einzelvergleichen der Gruppen untereinander zeigte sich, dass Patienten mit skelettaler Klasse III signifikant höhere Körperschwankungen aufwiesen als Patienten mit skelettaler Klasse II (mittlere Differenz 44,2 mm, $p = 0,002$; siehe Tabelle 12). Die Gruppe der skelettalen Klasse I lag bezüglich der Körperschwankungen zwischen den beiden anderen. Die Unterschiede waren nicht signifikant (siehe Tabelle 12).

Tabelle 8: Statistische Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA bzw. des Kruskal-Wallis Tests für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit Skelettaler Klasse I, II und III.

	Messparameter	Signifikanz p	Mittelwert ± Standardabweichung in mm		
			Skel. Kl. I	Skel. Kl. II	Skel. Kl. III
Augen ge- öffnet	Körperschwerpunkt transversal	0,086	1,35 ± 9,18	-1,16 ± 9,29	3,79 ± 10,43
	Körperschwerpunkt sagittal	0,349	98,23 ± 20,07	103,65 ± 20,22	106,52 ± 27,99
	Körperschwankung	0,137	70,21 ± 36,64	68,01 ± 35,18	83,72 ± 36,76
	Asymmetrie	0,300	6,42 ± 6,61	6,94 ± 6,22	8,64 ± 6,78
Augen ge- schlossen	Körperschwerpunkt transversal	0,063	-0,14 ± 6,76	-1,28 ± 8,64	3,23 ± 7,67
	Körperschwerpunkt sagittal	0,463	101,09 ± 19,97	102,67 ± 19,13	107,85 ± 26,38
	Körperschwankung	0,004**	103,21 ± 55,76	87,97 ± 52,86	132,12 ± 74,84
	Asymmetrie	0,169	4,86 ± 4,61	6,61 ± 5,64	6,59 ± 4,94

4.2.5 Okklusion

Bei geschlossenen Augen zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in der sagittalen Lage des Körperschwerpunktes ($p < 0,05$; siehe Tabelle 9). Patienten mit Angle-Klasse I unterschieden sich nicht signifikant von Patienten mit Angle-Klasse II ($p = 0,723$, siehe Tabelle 13).

Patienten mit Angle-Klasse III hatten hingegen einen weiter anterior liegenden Körperschwerpunkt als Patienten mit Angle-Klasse I und Angle-Klasse II ($p < 0,034$, siehe Tabelle 13).

Tabelle 9: Statistische Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA bzw. des Kruskal-Wallis Tests für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit Angle-Klasse I, II und III.

	Messparameter	Signifikanz p	Mittelwert ± Standardabweichung in mm		
			Angle-Kl. I	Angle-Kl. II	Angle-Kl. III
Augen geöffnet	Körperschwerpunkt transversal	0,075	0,98 ± 9,27	-0,77 ± 9,43	6,44 ± 6,68
	Körperschwerpunkt sagittal	0,083	98,88 ± 26,12	92,85 ± 21,34	109,91 ± 29,32
	Körperschwankung	0,582	89,06 ± 59,72	83,66 ± 56,95	85,87 ± 38,42
	Asymmetrie	0,825	6,96 ± 6,14	7,17 ± 6,12	6,44 ± 6,68
Augen geschlossen	Körperschwerpunkt transversal	0,089	1,56 ± 8,13	-0,91 ± 7,89	3,76 ± 8,15
	Körperschwerpunkt sagittal	0,018*	98,09 ± 23,89	95,19 ± 19,63	118,09 ± 31,34
	Körperschwankung	0,361	126,25 ± 88,45	111,18 ± 76,48	129,46 ± 81,56
	Asymmetrie	0,716	6,50 ± 5,08	5,92 ± 5,25	6,80 ± 5,50

4.2.6 Transversaler dentaler Befund

Es zeigten sich signifikante Unterschiede bei der Lage des Körperschwerpunktes (sowohl in transversaler als auch in sagittaler Richtung) zwischen den Gruppen (siehe Tabelle 10).

In lateraler Richtung hatten Patienten mit unilateralem Kreuzbiss links einen signifikant weiter rechts liegenden Körperschwerpunkt als Patienten ohne Kreuzbiss (mittlere Differenz: 7,3 mm; $p = 0,021$; siehe Tabelle 14).

In sagittaler Richtung gab es signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen „transversal eugnath“ und „Kreuzbiss links“ ($p < 0,001$), bzw. „transversal eugnath“ und „Kreuzbiss rechts“ ($p < 0,001$), sowohl bei geöffneten als auch geschlossenen Augen (siehe Tabelle 14). Patienten ohne Kreuzbiss hatten einen weiter anterior liegenden Körperschwerpunkt als Patienten mit links- oder rechtsseitigem Kreuzbiss (siehe Tabelle 14).

Im Hinblick auf die Standstabilität zeigten sich hoch signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen bei geschlossenen Augen ($p < 0,01$; siehe Tabelle 10).

Nach Einzelvergleichen der Gruppen untereinander zeigte sich, dass bei Patienten ohne Kreuzbiss der Körperschwerpunkt während der Messung weniger

schwankte als bei Patienten mit unilateralem Kreuzbiss links oder rechts ($p < 0,02$, siehe Tabelle 14).

Tabelle 10: Statistische Ergebnisse der einfaktoriellen ANOVA bzw. des Kruskal-Wallis Tests für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit transversaler Regelverzahnung, unilateralem Kreuzbiss links und unilateralem Kreuzbiss rechts.

	Messparameter	Signifikanz p	Mittelwert \pm Standardabweichung in mm		
			Kein Kreuzbiss	Kreuzbiss Rechts	Kreuzbiss Links
Augen geöffnet	Körperschwerpunkt transversal	0,025*	-0,74 \pm 9,48	1,13 \pm 8,45	6,58 \pm 8,38
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	102,31 \pm 21,84	81,42 \pm 17,71	70,86 \pm 20,38
	Körperschwankung	0,152	77,73 \pm 42,37	110,24 \pm 78,96	118,34 \pm 83,15
	Asymmetrie	0,797	7,12 \pm 6,26	6,38 \pm 5,53	7,96 \pm 6,96
Augen geschlos- sen	Körperschwerpunkt transversal	0,028*	-0,72 \pm 8,11	3,16 \pm 7,95	3,47 \pm 7,37
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	103,45 \pm 20,10	81,21 \pm 18,37	76,81 \pm 17,78
	Körperschwankung	0,008**	105,69 \pm 64,03	162,53 \pm 119,05	156,82 \pm 86,53
	Asymmetrie	0,508	6,08 \pm 5,38	6,94 \pm 4,87	6,24 \pm 5,02

4.2.7 Unilateraler Kreuzbiss

Im Anschluss daran wurden zur weiteren Analyse die Gruppen „Kreuzbiss links“ und „Kreuzbiss rechts“ zu einer Testgruppe „Kreuzbiss unilateral“ zusammengefasst, um diese mit der eugnathen Kontrollgruppe zu vergleichen.

Patienten mit Kreuzbiss wichen in Bezug auf die Lage des Körperschwerpunktes signifikant von der eugnathen Kontrollgruppe ab (transversal $p < 0,038$; sagittal $p < 0,001$; siehe Tabelle 11).

Auch unterschieden sich die Körperschwankungen bei geschlossenen Augen hoch signifikant zwischen beiden Gruppen ($p = 0,002$, siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Statistische Ergebnisse des T-Tests für unabhängige Stichproben bzw. des Mann-Whitney-U-Tests für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit transversaler Regelverzahnung und unilateralem Kreuzbiss.

	Messparameter	Signifikanz p	Mittelwert ± Standardabweichung in mm	
			Kein Kreuzbiss	Kreuzbiss unila- teral
Augen ge- öffnet	Körperschwerpunkt transversal	0,038*	-0,74 ± 9,48	2,82 ± 8,71
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	102,31 ± 21,84	78,15 ± 18,98
	Körperschwankung	0,056	77,73 ± 42,37	112,75 ± 79,34
	Asymmetrie	0,812	7,12 ± 6,26	6,87 ± 5,97
Augen ge- schlossen	Körperschwerpunkt transversal	0,008**	-0,72 ± 8,11	3,25 ± 7,69
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	103,45 ± 20,10	79,85 ± 18,09
	Körperschwankung	0,002**	105,69 ± 64,03	160,76 ± 108,99
	Asymmetrie	0,288	6,08 ± 5,38	6,72 ± 4,86

5. Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

5.1.1 Reliabilitätsanalyse

Die Mehrheit der Autoren bestätigten eine gute Verlässlichkeit und Wiederholbarkeit der ausgewählten posturographischen Messparameter [8][4,35,62]. Allerdings zweifelten auch einige Autoren die Verlässlichkeit von Kraftmessplatten an [80]. Daher wurde von Baldini et al. gefordert, für jeden Test die Reliabilität zu überprüfen [5].

Der Koeffizient für die Wiederholbarkeit der Variablen in der vorliegenden Studie war für alle Parameter größer als 0,7, was eine gute Verlässlichkeit bestätigt und im Einklang mit der Vergleichsliteratur steht [4,62]. Im Review von Ruhe et al. wurde über Erhöhung der ICC durch eine Messung mit geschlossenen Augen berichtet [90]. Dies wurde in unserer Studie für die Messung der Körperschwankungen bestätigt.

5.1.2 Korrelationsanalyse Alter und Messergebnisse

Die Ergebnisse zeigten eine starke Korrelation zwischen dem Patientenalter und der antero-posterioren Lage des Körperschwerpunktes ($p < 0,001$). Es scheint, dass der Körperschwerpunkt mit steigendem Alter weiter nach anterior wandert. Dies könnte aber auch auf Wachstum bzw. die Größe der Füße zurückzuführen sein, da bei der Messmethode die Referenzlinie an der Fußrückseite lag. Bei einem größeren Fuß würden die Belastungszentren der Vorfüße weiter nach vorne wandern, während die Belastungszentren der Rückfüße annähernd an der gleichen Position wie beim kleineren Fuß blieben, was in einem weiter vorne liegenden Körperschwerpunkt resultiert. Ebenso zeigten Körperschwankungen eine starke Korrelation mit dem Patientenalter ($p < 0,001$). Mit steigendem Alter wurde der Stand stabiler. Diese Ergebnisse wurden auch in anderen Studien bestätigt [86,87]. Den physikalischen Prinzipien der Stabilisierung des Körperschwerpunkts über der Unterstützungsfläche der Füße zu Folge

könnte die Körpergröße hierfür einen Störfaktor darstellen. In klinischen Studien wurde aber eine Abhängigkeit der Haltungsstabilität von der Körpergröße nicht bestätigt [86] und somit hier außer Acht gelassen.

5.1.3 Gruppenunterschiede bezüglich des Patientengeschlechts

Der überwiegende Teil der Studien zu Wechselwirkungen von Parametern des Körperschwerpunktes und des Patientengeschlechtes bezieht sich auf ältere Patienten. Zu Geschlechtsunterschieden in der Altersspanne unserer Studie existiert deutlich weniger Vergleichsliteratur.

In unserer Studie hatten die weiblichen Patienten einen signifikant weiter posterior liegenden Körperschwerpunkt als die männlichen Probanden, was in der einzigen publizierten Studie zu diesem Thema ebenfalls bestätigt werden konnte [17].

Ebenso konnte gezeigt werden, dass die männlichen Versuchsteilnehmer bei geschlossenen Augen größere Schwankungen des Körperschwerpunktes aufwiesen als die weiblichen. Somit hatten die weiblichen Versuchsteilnehmer einen stabileren und sichereren Stand. In der Referenzliteratur gibt es hierzu kontroverse Aussagen. Während einige Autoren keinen Einfluss des Geschlechtes auf die Standstabilität nachweisen konnten [57,88], bestätigten andere Autoren die Ergebnisse unserer Studie, nämlich größere Körperschwankungen bei männlichen Patienten [17,28,29]. Als mögliche Erklärungen werden geschlechtsspezifische Unterschiede der Struktur und Nutzung der Stütz Muskulatur, insbesondere des M. soleus, genannt [29].

5.1.4 Gruppenunterschiede bezüglich der skelettalen und dentalen Bisslage

Bezogen auf die dentale Bisslage zeigten Patienten mit Angle-Klasse III einen signifikant weiter anterioren Körperschwerpunkt als Patienten mit Angle-Klasse I oder II. Bei den Klasse-II-Patienten lag er am weitesten posterior, allerdings nur bei der Messung mit geschlossenen Augen. Es erscheint plausibel, dass eine weiter anterior (bzw. posterior) gelegene Mandibula auch einen weiter an-

terior (bzw. posterior) gelegenen Körperschwerpunkt bedingt. Ebenfalls bezogen auf die skelettale Bisslage zeichnete sich der Trend ab, dass Patienten mit skelettaler Klasse III den am weitesten anterior gelegenen Körperschwerpunkt aufwiesen. Die Ergebnisse blieben jedoch unterhalb der Signifikanzgrenze. Aus strahlenhygienischen Gründen lagen nicht bei allen Patienten aktuelle FRS vor (siehe Abschnitt 3.2 und 5.2.1). Daher lag bei skelettaler und dentaler Bisslage nicht der gleiche Stichprobenumfang vor.

Patienten mit einer skelettalen Klasse III zeigten bei geschlossenen Augen die größten Körperschwankungen ($p = 0,004$). Patienten mit skelettaler Klasse II hatten die stabilste Körperhaltung. Diese Ergebnisse stellen eine Neuigkeit dar, denn bisher konnte der Einfluss einer sagittalen Malokklusion auf die Standstabilität in Vergleichsstudien nicht nachgewiesen werden [30,81]. Diese Studien wiesen jedoch einige methodische Unterschiede zur vorliegenden Untersuchung auf. Perinetti et al. untersuchten in einem kieferorthopädisch auffälligen Kollektiv primär nicht den Einfluss eines bestimmten Malokklusionsfaktors, sondern die Auswirkung verschiedener Mandibulapositionen auf die Standstabilität. Die Gruppengrößen der Probanden mit einer gemeinsamen Gebissanomalie fielen zum Teil sehr gering aus (z.B. 14 Patienten mit Kreuzbiss und fünf Patienten mit Angle-Klasse III) [81]. Ferrario et al. verglichen die Körperschwankungen von Patienten mit Angle-Klasse II mit einer kieferorthopädisch unauffälligen Kontrollgruppe. Der gravierende Unterschied in der Methodik war, dass die Probanden ihre Standposition auf der Messplattform frei wählen durften; eine einheitliche Fußposition gab es nicht [30]. Somit sind die Ergebnisse nur bedingt mit denen unserer Studie vergleichbar.

In der Literatur wurde nachgewiesen, dass Patienten mit einer Klasse-III-Anomalie auch gehäuft Asymmetrien aufweisen (mit einer Prävalenz um 40 % [93,99,112,113]). Somit ist eine ähnliche Erklärung für die erhöhten Körperschwankungen wie bei der Probandengruppe mit unilateralem Kreuzbiss denkbar (siehe Abschnitt 5.1.6).

5.1.5 Der unilaterale Kreuzbiss in Wechselwirkung mit der Lage des Körperschwerpunktes

Der Zusammenfassung der Gruppen „Kreuzbiss links“ und „Kreuzbiss rechts“ zu „Kreuzbiss unilateral“ lag die Annahme zu Grunde, dass vor allem die kieferorthopädische Ausprägung einer asymmetrischen Okklusion unabhängig von der Seitigkeit einen Einfluss auf den Körperschwerpunkt haben könnte. Die analogen Ergebnisse bei den Analysen bei nach Seiten getrennten und zusammengefassten Gruppen bekräftigen diese Annahme. In der Analyse unserer Stichprobe lag bei Patienten mit unilateralem Kreuzbiss der Körperschwerpunkt weiter rechts (insbesondere beim linksseitigen Kreuzbiss). Die Tests zeigten hier signifikante Unterschiede sowohl bei geöffneten als auch bei geschlossenen Augen. Auch hier kam die Abweichung des Körperschwerpunktes besonders unter Wegfall der optischen Kontrolle auf den Stand zum Tragen.

Diese Ergebnisse erscheinen einleuchtend, da analog zur transversalen Koordinate des Körperschwerpunktes die Ausprägung eines unilateralen Kreuzbisses ebenfalls eine Abweichung nach lateral darstellt. Ebenso stellt die Mehrzahl der Haltungsauffälligkeiten, die oft mit Kreuzbissen zusammen auftreten (z.B. Skoliose, Schulter-/Beckenschiefstand, siehe Abschnitt 1.4.2), eine Anomalie in transversaler Richtung dar.

Analog hierzu konnten Bracco et al. zeigen, dass in myozentrischer Unterkieferposition im Vergleich zur Ruhelage und habitueller Interkuspidation am wenigsten Abweichungen des Körperschwerpunkts von der idealisierten, symmetrischen Position vorlagen [12]. Dies kann in Relation zu unserem Studienaufbau gebracht werden, wenn man bedenkt, dass beim unilateralem Kreuzbiss die habituelle Interkuspidation durch eine laterale mandibuläre Schwenkung nicht der Myozentrik entspricht [53]. Auch, da Zhou et al. einen linearen Zusammenhang zwischen unilateralem Kreuzbiss und lateralen Körperasymmetrien nachwiesen [114], lässt eine laterale Abweichung des Körperschwerpunkts plausibel erscheinen. Zhou et al. wiesen außerdem eine Korrelation der Kreuzbisseite mit der Seite der skoliotischen Biegung der thorakolumbalen Wirbelsäule nach [114]. Dies würde die These von Hirschfelder et al. im Sinne der Gesichtssymmetrie als erneute Ausgleichskrümmung der skoliotischen Wirbelsäule be-

kräftigen [45]. Diese beiden Studien bedienten sich der Auswertung von Röntgenbildern. In Bezug auf unsere Ergebnisse konnte keine Korrelation der Seitigkeit des Kreuzbisses (bzw. der Gesichtsasymmetrie) mit der Seite der Abweichung des Körperschwerpunktes beobachtet werden.

In sagittaler Richtung lag bei Probanden mit unilateralem Kreuzbiss der Körperschwerpunkt weiter posterior, insbesondere beim Kreuzbiss links. Diese Abweichungen können mit einer generell veränderten Körperhaltung beim Vorliegen von Asymmetrien erklärt werden. Als Bestätigung für diese Ergebnisse wiesen Dalleau et al. einen weiter posterior gelegenen Körperschwerpunkt bei Skoliosepatienten, welche gehäuft Kreuzbisse aufweisen, nach [18].

Andere Studien, die den Einfluss einer transversal asymmetrischen Okklusion auf die Position des Körperschwerpunkts in antero-posteriorer Richtung untersuchten, konnten bisher noch keinen Zusammenhang herstellen [30,79,81]. In der Studie von Ohlendorf et al. wurden die Füße der Probanden in einem nach anterior offenen Winkel von 30 Grad positioniert [79], während in unserer Studie durch die einheitliche Standposition eine eher parallele Anordnung der Füße erfolgte. Ansonsten war die Untersuchungsmethode bei Ohlendorf et al. (bezogen auf Altersgruppe und Zahl der Probanden und die Durchführung der Messungen) der unseren ähnlich. Ohlendorf et al. schließen einen Zusammenhang von Kreuzbiss und Körperhaltung allerdings nicht aus. Sie begründen ihre Ergebnisse mit einer hohen Adaptationsfähigkeit des sensomotorischen Systems im jugendlichen Alter [79].

Ferrario et al. untersuchte nicht Probanden mit Kreuzbiss, sondern Patienten mit asymmetrischer Angle-Klasse II und bei den posturographischen Messungen lag keine einheitliche Standposition vor (siehe Abschnitt 5.1.4) [30]. Bei Perinetti et al. war die primäre Analyse die Auswirkungen verschiedener Mandibulapositionen auf den Körperschwerpunkt (siehe Abschnitt 5.1.4) [81]. Damit sind die Ergebnisse dieser Studien mit unseren Untersuchungen nur bedingt vergleichbar.

5.1.6 Der unilaterale Kreuzbiss in Wechselwirkung mit der Standstabilität

Patienten mit unilateralem Kreuzbiss (besondere Ausprägung bei linksseitigem Kreuzbiss) zeigten einen weniger stabilen Stand als Patienten ohne Kreuzbiss bei geschlossenen Augen.

Andere Autoren konnten auch einen Einfluss der Okklusion sowie der mandibulären Position auf die Stabilität feststellen [5,12,32,91,100], die unsere Ergebnisse bestätigen. In der Literatur konnte eine deutliche Zunahme der Körperschwankungen bei nach lateral verlagelter Mandibulaposition nachgewiesen werden [32,91]. Dies würde einer lateralen Verschiebung im Sinne eines unilateralen Kreuzbisses in unserer Studie entsprechen. Ebenso wurde bestätigt, dass eine myozentrische Unterkieferposition, also eine Position ohne laterale Abweichung, die Haltungsstabilität verbessert [12,32], was mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie in Einklang steht. Außerdem wurde ein Zusammenhang des unilateralen Kreuzbisses mit anderen Körperasymmetrien (vor allem Skoliose) mehrfach nachgewiesen [47,58,59]. Patienten mit Skoliose zeigten ebenso erhöhte Körperschwankungen im Vergleich zu asymptomatischen Patienten [18,77].

5.2 Diskussion der Methodik

5.2.1 Patientenselektion und Befunderhebung

Die Verteilung von Rechts- und Linkshändern war erwartungsgemäß sehr ungleich (90,1 % Rechts- und 9,9 % Linkshänder). Dies entspricht jedoch der Verteilung innerhalb der Bevölkerung, die mit 5 - 25,9 % Linkshändern angegeben wird [37] und kann daher als repräsentativ angesehen werden. Die Geschlechteraufteilung der Studiengruppe (67 bzw. 44,4 % männlich und 84 bzw. 55,6 % weiblich) war recht ausgeglichen.

Bei der Patientenselektion wurde besonderer Wert auf eine adäquate Probandenzahl gelegt, um verlässliche Ergebnisse zu erzielen. Zu den Teilnehmern der vorliegenden Studie zählten 151 Patienten. In anderen vergleichbaren posturographischen Studien waren die Patientenzahlen vergleichsweise gering: Ferrario et al. untersuchten 39 Versuchspersonen, Gangloff et al. insgesamt 36,

Perinetti et al. 26, Hellmann et al. 20 und Tardieu et al. lediglich 10 Probanden [30,32,42,80,105].

Für die Zuordnung in eine skelettale Bisslage wurden Analysen von Fernröntgenseitenbildern (FRS) herangezogen. Idealerweise wäre eine Gruppeneinteilung durch ein aktuell vor jeder Messung angefertigtes FRS gewesen, um die beim Zeitpunkt der Messung vorliegende skelettale Anomalieausprägung in der Sagittalen beurteilen zu können. Aufgrund der zusätzlichen Strahlenbelastung für den Patienten wurde hier aber im Sinne des ALARA-(„As low as reasonably achievable“) Prinzips als grundlegende Leitlinie des Strahlenschutzes bewusst auf diese Maßnahme verzichtet. Ebenso wurden keine FRS angefertigt, wenn dies keine therapeutische Konsequenz für den Patienten gehabt hätte. Dies ist zum Beispiel im Rahmen der kieferorthopädischen Frühbehandlung meist nicht notwendig, in der das routinemäßige Anfertigen eines FRS kontraindiziert ist [50].

5.2.2 Posturographie als Methode

Generell gilt zu bedenken, dass alle Ergebnisse dieser Studie lediglich die Auswirkung der Summe sämtlicher bei einer Haltungsänderung beteiligten Körperteile auf den Körperschwerpunkt, projiziert auf die Standfläche in der Horizontalen, betreffen [12]. Rückschlüsse auf einzelne Abschnitte können daher nur bedingt gezogen werden. Bei einer Änderung im stomatognathen System werden Ausgleichsprozesse im absteigenden Halteapparat nicht zwingend durch Posturographie erfasst. Daher wurde von Baldini et al. wegen mangelnder Sensitivität Kritik an der Methode geäußert und 3D-Analysen wie z.B. Rasterstereographie vorgeschlagen, um Wechselwirkungen zwischen bestimmten anatomischen Strukturen zu verifizieren [5].

Dennoch ist die Evaluation von Parametern der Körperhaltung, sowie Haltungsstabilität, mittels Einsatz einer Druckmessplattform eine bewährte Methode in klinischer Praxis und Forschung [4,24].

Posturographische Messparameter wurden überwiegend als verlässlich mit guter bis exzellenter Wiederholbarkeit eingestuft. Dies gilt sowohl für gesunde wie auch haltungsauffällige Patienten [4,8,16,35,62,69,92,101,107]. Daher wurde

die Bestimmung des Körperschwerpunktes in unserer Studie als sinnvoll und verlässlich angesehen. Lediglich ein Autor berichtete von einer schlechten bis moderaten Verlässlichkeit von Parametern des Körperschwerpunktes [94].

Andere Studien konnten für die verwendete Messtechnologie (Messplattform mit kapazitiven Drucksensoren) [33,67] sowie im speziellen Fall für die zebris-FDM-Messplattform [36] außerdem eine hohe Präzision bestätigen.

Für die Quantifizierung von Körperschwankungen wurde die zurückgelegte Strecke des Körperschwerpunktes während einer Messung gewählt. Einen anderen oft benutzten Parameter für Körperschwankungen stellt die Größe der durch die Strecke des Körperschwerpunktes eingeschlossenen Fläche dar (Vertrauensellipse). Aufgrund der geringeren Reliabilität dieses Parameters [4] und der Beschreibung der zurückgelegten Strecke als informativsten Parameter zur Beurteilung der Standstabilität [85] wurde auf die Analyse der Vertrauensellipse verzichtet.

5.2.3 Systematik des Messvorgangs

Wenn auch der Einsatz einer Druckmessplattform eine verlässliche Methode darstellt, muss gesagt werden, dass Werte des Körperschwerpunktes durch die Atmung, Position von Kopf und Hals und allgemeiner physischer und psychischer Verfassung beeinflusst werden können und daher natürlichen Schwankungen unterliegen [11,51,56,110]. Einige dieser Fehlerquellen sind durch den Versuchsleiter nur schwer zu beeinflussen. Maßgebend für die Vergleichbarkeit der Messwerte der Probanden untereinander (inter-individuelle Vergleichbarkeit) ist die einheitliche Positionierung der Probanden. Hierauf wurde bei der Durchführung der Studie größten Wert gelegt. Da das zebris Messsystem sehr exakt arbeitet und empfindlich auf Änderungen reagiert, wurde versucht, so viele Störfaktoren wie möglich zu eliminieren. Die Probanden wurden gebeten, Schmuck an Armen und Hals abzulegen, sowie schwere Gegenstände aus den Hosentaschen zu entfernen. Die Standposition mit locker am Körper seitlich herunterhängenden Armen wurde gemäß den Empfehlungen der Literatur [90,116] gewählt, da diese Position biomechanisch am wahrscheinlichsten dem natürlichen Körperschwerpunkt entspricht [90].

Bei allen Messungen nahmen die Patienten ihre habituelle Interkuspidation ein. Diese Position wurde bewusst gewählt, da sie zum einen die gewohnheitsmäßig eingenommene Position darstellt, zum anderen weil nur in ihr die erhobenen Okklusionsabweichungen voll zum Tragen kommen. Zum Beispiel geschieht beim Vorliegen eines unilateralen Kreuzbisses erst beim Einnehmen der Okklusion eine laterale Verschiebung der Mandibula.

5.3 Klinische Konklusionen:

- Patienten mit einer skelettalen Klasse III zeigten signifikant höhere Körperschwankungen als Patienten mit einer Klasse II oder Klasse I.
- Im Vergleich zur Angle-Klasse I zeigten Patienten mit Angle-Klasse III einen weiter anterioren Körperschwerpunkt, Patienten mit Angle-Klasse II einen weiter posterioren.
- Patienten mit unilateralem Kreuzbiss zeigten eine signifikant unterschiedliche (weiter posterior und weiter rechts liegende) Ruheposition des Körperschwerpunktes im Vergleich zu Patienten ohne Kreuzbiss
- Die laterale Belastungsverteilung war bei Patienten mit transversal symmetrischer Okklusion ausgeglichener als bei Patienten mit unilateralem Kreuzbiss.
- Patienten mit unilateralem Kreuzbiss zeigten signifikant höhere Körperschwankungen im Vergleich zu Patienten mit transversal symmetrischer Okklusion.

6. Zusammenfassung

Ein möglicher Zusammenhang zwischen gebissbezogenen Befunden und der Körperhaltung stellt eine seit langem kontrovers diskutierte Schnittstelle der Orthopädie und Zahnheilkunde dar. Aufgrund der heterogenen Studienlage war das Ziel dieser Studie, Auswirkungen einer transversalen oder sagittalen Okklusionsabweichung auf die Lage und Stabilität des Körperschwerpunktes zu analysieren. Zudem sollte der bisher nur unzureichend untersuchte Einfluss von Patientenfaktoren (wie chronologisches Alter, Geschlecht und Händigkeit) abgeklärt werden.

Insgesamt wurden posturographische Messungen bei 151 Patienten (davon 67 männlich und 84 weiblich; im Alter von 4 bis 34 Jahren) durchgeführt. Patienten mit angeborenen Syndromen, Verletzungen am Halte- und Bewegungsapparat, Schwindel oder Gleichgewichtsstörungen wurden von der Studie ausgeschlossen. Als Befunde wurden die Händigkeit der Patienten, Einteilung in skelettale und dentale Bisslage sowie transversale dentale Abweichungen (wie uni- oder bilaterale Kreuzbisse) registriert. Die Erhebung der Messdaten wurde mit einer Druckverteilungs-Messplattform vom Model „FDM“ und der Software „WinFDM-S 1.2.0“ der Firma zebis durchgeführt. Der Messvorgang erfolgte ohne Schuhe im aufrechten Stand in standardisierter Fußposition bei Zusammenbiss in habitueller Interkuspidation. Es wurde jeweils eine Messung mit geöffneten und eine mit geschlossenen Augen durchgeführt. Um die intra-operator Reliabilität beurteilen zu können, erfolgte bei 60% der Studienpatienten ein zusätzlicher doppelter Messzyklus mit den jeweils gleichen Bedingungen. Als posturographische Messparameter wurden die Position des projizierten Köperschwerpunktes in lateraler sowie in antero-posteriorer Ausrichtung, die Standstabilität und ein Asymmetrie-Index der Druckverteilung ausgewertet. Für die statistische Analyse kam das Programm SPSS Statistics Version 18.0 zum Einsatz. Nach Prüfung auf Normalverteilung der Daten wurden parametrische bzw. nichtparametrische Testverfahren angewandt.

Anhand der Reliabilitätsanalyse wurden die Messungen als verlässlich beurteilt ($ICC > 0,7$). Mit steigendem Alter erfolgte eine anteriore Verlagerung des Kör-

perschwerpunktes und eine Zunahme der Standstabilität. Weibliche Patientinnen hatten einen weiter posterior gelegen Körperschwerpunkt und weniger Körperschwankungen als die männlichen Probanden.

Nach Analyse des Einflusses verschiedener kieferorthopädischer Befunde zeichneten sich signifikante Unterschiede sowohl bei sagittalen als auch transversalen Abweichungen ab: Bezüglich der Standstabilität zeigten bei Entkoppelung des optokinetischen Systems sowohl Patienten mit einer skelettalen Klasse III als auch Patienten mit unilateralem Kreuzbiss signifikant höhere Körperschwankungen als Patienten mit einer Klasse II oder I bzw. mit transversaler Regelverzahnung. Eine mögliche gemeinsame Ursache könnten mit der Gebissanomalie häufig assoziierte Gesichts- sowie Körperasymmetrien darstellen. Bezüglich der Lage des Körperschwerpunktes zeigten Patienten mit Angle-Klasse III gegenüber Patienten mit Angle-Klasse II eine signifikant weiter anteriore Position. Ebenso wiesen Patienten mit unilateralem Kreuzbiss eine signifikant unterschiedliche (weiter posterior und weiter rechts liegende) Ruheposition des Körperschwerpunktes auf. Die laterale Belastungsverteilung der symmetrisch verzahnten Kontrollgruppe war hier tendenziell ausgeglichener.

Die Ergebnisse der Studie sprechen für einen Zusammenhang zwischen stomatognathem System und Halteapparat. Da sich mittels Posturographie lediglich die Auswirkung der Summe sämtlicher bei einer Haltungsänderung beteiligten Körperteile auf den Körperschwerpunkt registrieren lässt, bieten die Ergebnisse den Anreiz für weitere klinische Forschung im Sinne einer klinischen Verlaufsmessung während der kieferorthopädischen Therapie.

Summary

A potential relation between dental findings and body posture has been a long discussed issue between the classic fields of dentistry and orthopedics. Due to the contradictory findings in scientific studies, the objective of this study was to examine the influence of transversal and sagittal malocclusions on position and stability of the center of pressure in posturography. In addition, possible effects of age, gender and the fact if patients were right or left handed, were examined. The study included 151 subjects (67 male and 84 female, age 4-34 years). Patients with congenital syndromes, injuries of the moving apparatus and vertigo were excluded. Dental recordings included sagittal malocclusions according to angle-class and skeletal anomaly and transversal malocclusions such as uni- or bilateral posterior crossbite. A posturographic force platform, model "FDM" by zebris, and the software "WinFDMS 1.2.0" were used for the measures of center of pressure parameters. "SPSS 18.0" was used for statistical analysis. Postural recordings were performed without shoes, in standardized foot position and both, with eyes open and eyes closed. Patients were asked to rest in habitual intercuspitation without clenching the teeth. In order to judge the reliability of the method, a second recording under the exact same conditions was done for 60 % of the subjects.

For the analysis, lateral and antero-posterior displacement of the center of pressure, as well as sway length and an index of asymmetry of pressure distribution served as posturographic parameters. After normal distribution was tested, parametric and nonparametric tests were used for further statistical analysis.

The posturographic recordings were judged as reliable ($ICC > 0.7$). A more anterior position of the center of pressure and less body sway was found with increase of age. Female patients showed a more posterior center of pressure and less body sway than males. Significant differences of posturographic parameters were found in sagittal and transversal malocclusions: With the lack of vision, patients with skeletal class III as well as subjects with unilateral crossbite showed higher body sway than patients with skeletal class II or I and

without crossbite. A possible explanation could be anomaly-associated face and body asymmetries.

Regarding the displacement of the center of pressure, patients with angle-class III had a more anterior position than patients with angle-class II. In addition to that, patients with unilateral crossbite showed a more posterior and right positioned center of pressure than patients without posterior crossbite. The lateral pressure distribution beneath the feet tended to be more symmetric in patients without transversal malocclusion.

These results suggest a relation between the stomatognathic system and body posture and encourage to investigate possible postural changes during an orthodontic treatment. However, posturography only allows the display of the summation of all involved adjusting anatomical structures of the movement apparatus on posture. In order to identify direct effects more clinical research regarding other methods is necessary.

7. Literaturverzeichnis

1. Abramson E: *Zur Kenntnis der Mechanik des Mittelfusses*. Skand. Arch. Physiol 1927; 51: p. 175-234
2. Andrade S, Gameiro G, Derossi M, Gaviao M: *Posterior crossbite and functional changes. A systematic review*. Angle Orthod 2009; 79(2): p. 380-386
3. Angle EH: *Classification of Malocclusion*. Dent Cosmos (Philadelphia) 1899; 41: p. 248-264
4. Baldini A, Nota A, Assi V, Ballanti F, Cozza P: *Intersession reliability of a posturo-stabilometric test, using a force platform*. J Electromyogr Kinesiol 2013; 23(6): p. 1474-1479
5. Baldini A, Nota A, Tripodi D, Longoni S, Cozza P: *Evaluation of the correlation between dental occlusion and posture using a force platform*. Clinics 2013; 68(1): p. 45-49
6. Balters W: *Die Wirbelsäule aus der Sicht des Zahnarztes*. Zahnärztl Mitt 1964; 9: p. 408-412
7. Bartrow K: *Körperhaltung, Haltungstypen und Haltungskontrolle*. In: *Untersuchen und Befunden in der Physiotherapie*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2012: p. 55-60
8. Bauer C, Gröger I, Rupprecht R, Meichtry A, Tibesku CO, Gaßmann K: *Reliability analysis of time series force plate data of community dwelling older adults*. Arch Gerontol Geriatr 2010; 51(3): p. e100-e105
9. Ben-Bassat Y, Yitschaky M, Kaplan L, Brin I: *Occlusal patterns in patients with idiopathic scoliosis*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2006; 130(5): p. 629-633
10. Berger: *Haltung und Bewegung beim Menschen*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 1984: p. 65-74

11. Bolmont B, Gangloff P, Vouriot A, Perrin PP: *Mood states and anxiety influence abilities to maintain balance control in healthy human subjects.* Neurosci Lett 2002; 329(1): p. 96-100
12. Bracco P, Deregibus A, Piscetta R: *Effects of different jaw relations on postural stability in human subjects.* Neurosci Lett 2004; 356(3): p. 228-230
13. Brandt T, Wenzel D, Dichgans J: *Die Entwicklung der visuellen Stabilisation des aufrechten Standes beim Kind: Ein Reifezeichen in der Kinderneurologie.* Arch Psychiatr Nervenkr 1976; 223(1): p. 1-13
14. Buisseret-Delmas C, Compoin C, Delfini C, Buisseret P: *Organisation of reciprocal connections between trigeminal and vestibular nuclei in the rat.* J Comp Neurol 1999; 409(1): p. 153-168
15. Cobb J, Claremont DJ: *Transducers for foot pressure measurement: survey of recent developments.* Med Biol Eng Comput 1995; 33(4): p. 525-532
16. Corriveau H, Hebert R, Prince F, Raiche M: *Intrasession reliability of the "center of pressure minus center of mass" variable of postural control in the healthy elderly.* Arch Phys Med Rehabil 2000; 81(1): p. 45-48
17. Cruz-Gomez NS, Plascencia G, Villanueva-Padron LA, Jauregui-Renaud K: *Influence of obesity and gender on the postural stability during upright stance.* Obes Facts 2011; 4(3): p. 212-217
18. Dalleau G, Damavandi M, Leroyer P, Verkindt C, Rivard CH, Allard P: *Horizontal body and trunk center of mass offset and standing balance in scoliotic girls.* Eur Spine J 2011; 20(1): p. 123-128
19. Dana CL: *Diagnosis and methods of examination.* In: Text-book of Nervous Diseases: Being a Compendium for the Use of Students and Practitioners of Medicine. William Wood & Co, New York, NY 1901: p. 39-59
20. D'Attilio M, Filippi MR, Femminella B, Festa F, Tecco S: *The influence of an experimentally-induced malocclusion on vertebral alignment in rats: a controlled pilot study.* Cranio 2005; 23(2): p. 119-129

21. Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie: *Indikation und Häufigkeit von Röntgenaufnahmen*. J Orofac Orthop 1997; 58(5): p. 286-287
22. Devoize L, Domejean S, Melin C, Raboisson P, Artola A, Dallel R: *Organization of projections from the spinal trigeminal subnucleus oralis to the spinal cord in the rat: a neuroanatomical substrate for reciprocal orofacial-cervical interactions*. Brain Res 2010; 1343: p. 75-82
23. Diedrich P: *Kieferorthopädie I*. 4. Auflage. Urban & Fischer, München & Jena 2000: p. 109-111
24. Doyle RJ, Hsiao-Wecksler ET, Ragan BG, Rosengren KS: *Generalizability of center of pressure measures of quiet standing*. Gait Posture 2007; 25(2): p. 166-171
25. Dußler E, Raab P, Kunz B, Kirschner S, Witt E: *Mandibuläre Mittellinienverschiebungen und Asymmetrien des Halte- und Bewegungsapparates bei Kindern und Jugendlichen*. Manuelle Medizin 2002; 40(2): p. 116-119
26. Eberle J: *Zum initialen Einfluss einer reversibel veränderten Vertikaldimension bei Totalprothesenträgern auf die horizontale Projektion des Körperschwerpunktes*. Dissertation. Philipps-Universität Marburg 2010
27. Ehrlich R, Garlick D, Ninio M: *The effect of jaw clenching on the electromyographic activities of 2 neck and 2 trunk muscles*. J Orofac Pain 1999; 13(2): p. 115-120
28. Ekdahl C, Jarnlo G, Andersson S: *Standing balance in healthy subjects. Evaluation of a quantitative test battery on a force platform*. Scand J Rehabil Med 1989; 21(4): p. 187-195
29. Farenc I, Rougier P, Berger L: *The influence of gender and body characteristics on upright stance*. Ann Hum Biol 2003; 30(3): p. 279-294
30. Ferrario VF, Sforza C, Schmitz JH, Taroni A: *Occlusion and center of foot pressure variation: Is there a relationship?* J Prosthet Dent 1996; 76(3): p. 302-308

31. Froböse I, Nellessen G, Wilke C: *Training in der Therapie - Grundlagen und Praxis*. 2. Auflage. Urban & Fischer, München 2003: p. 140-158
32. Gangloff P, Louis J, Perrin PP: *Dental occlusion modifies gaze and posture stabilization in human subjects*. Neurosci Lett 2000; 293(3): p. 203-206
33. Giacomozzi C: *Appropriateness of plantar pressure measurement devices: A comparative technical assessment*. Gait Posture 2010; 32(1): p. 141-144
34. Gresham H, Smithells PA: *Cervical and mandibular posture*. Dent Rec 1954; 74: p. 261-264
35. Gurney JK, Kersting UG, Rosenbaum D: *Between-day reliability of repeated plantar pressure distribution measurements in a normal population*. Gait Posture 2008; 27(4): p. 706-709
36. Gutmann T: *Der Einfluss artifizierender und temporärer Veränderung der Okklusion auf den Körperschwerpunkt in Korrelation zur Muskelaktivität*. Dissertation. Philipps-Universität Marburg 2006
37. Gutwinski S, Löscher A, Mahler L, Kalbitzer J, Heinz A, Bempohl F: *Understanding left-handedness*. Dtsch Arztebl Int 2011; 108(50): p. 849-853
38. Hanke BA, Motschall E, Turp JC: *Association between orthopedic and dental findings: what level of evidence is available?* J Orofac Orthop 2007; 68(2): p. 91-107
39. Hannuksela A, Vaananen A: *Predisposing factors for malocclusion in 7-year-old children with special reference to atopic diseases*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1987; 92(4): p. 299-303
40. Harila V, Valkama M, Sato K et al.: *Occlusal asymmetries in children with congenital hip dislocation*. Eur J Orthod 2012; 34(3): p. 307-311
41. Harrison JE, Ashby D: *Orthodontic treatment for posterior crossbites*. Cochrane Database Syst Rev 2001; (1): p. CD000979
42. Hellmann D, Giannakopoulos NN, Blaser R, Eberhard L, Schindler HJ: *The effect of various jaw motor tasks on body sway*. J Oral Rehabil 2011; 38(10): p. 729-736

43. Hesse KL, Artun J, Joondeph DR, Kennedy DB: *Changes in condylar position and occlusion associated with maxillary expansion for correction of functional unilateral posterior crossbite*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 1997; 111(4): p. 410-418
44. Hinsdale G: *The station of man, considered physiologically and clinically*. Am J Med Sci 1897; 93: p. 478-485
45. Hirschfelder U, Hirschfelder H: *Auswirkungen der Skoliose auf den Gesichtsschädel*. Fortschr Kieferorthop 1983; 44(6): p. 457-467
46. Hirschfelder U, Hirschfelder H: *Sagittale Kieferrelation und Wirbelsäulenhaltung: Untersuchungen zur Frage einer Abhängigkeit*. Fortschr Kieferorthop 1987; 48(5): p. 436-448
47. Huggare J: *Postural disorders and dentofacial morphology*. Acta Odontol Scand 1998; 56(6): p. 383-386
48. Huggare J, Pirttiniemi P, Serlo W: *Head posture and dentofacial morphology in subjects treated for scoliosis*. Proc Finn Dent Soc 1991; 87(1): p. 151-158
49. Kahl-Nieke B: *Einführung in die Kieferorthopädie*. 3. Auflage. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2010: p. 7, 148, 150, 272
50. Kahl-Nieke B: *Optimaler Zeitpunkt für die Durchführung kieferorthopädischer Maßnahmen (unter besonderer Berücksichtigung der kieferorthopädischen Frühbehandlung)*. Richtlinie der DGKFO (Hrsg), Hamburg 2010
51. Kantor E, Poupard L, Le Bozec S, Bouisset S: *Does body stability depend on postural chain mobility or stability area?* Neurosci Lett 2001; 308(2): p. 128-132
52. Kecik D, Kocadereli I, Saatci I: *Evaluation of the treatment changes of functional posterior crossbite in the mixed dentition*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2007; 131(2): p. 202-215
53. Kennedy DB, Osepchuk M: *Unilateral posterior crossbite with mandibular shift: a review*. J Can Dent Assoc 2005; 71(8): p. 569-573

54. Klimt F: *Haltung, Haltungsschwäche, Fehlhaltung, Haltungsschaden*, Dissertation. Philipps-Universität Marburg 1990
55. Kochel J, Meyer-Marcotty P, Sickel F, Lindorf H, Stellzig-Eisenhauer A: *Short-term pharyngeal airway changes after mandibular advancement surgery in adult Class II-Patients--a three-dimensional retrospective study*. J Orofac Orthop 2013; 74(2): p. 137-152
56. Kogler A, Lindfors J, Odkvist LM, Ledin T: *Postural stability using different neck positions in normal subjects and patients with neck trauma*. Acta Otolaryngol 2000; 120(2): p. 151-155
57. Kollegger H, Baumgartner C, Wöber C, Oder W, Deecke L: *Spontaneous Body Sway as a Function of Sex, Age, and Vision: Posturographic Study in 30 Healthy Adults*. Eur Neurol 1992; 32(5): p. 253-259
58. Korbmacher H, Eggers-Stroeder G, Koch L, Kahl-Nieke B: *Correlations between dentition anomalies and diseases of the of the postural and movement apparatus--a literature review*. J Orofac Orthop 2004; 65(3): p. 190-203
59. Korbmacher H, Koch L, Eggers-Stroeder G, Kahl-Nieke B: *Associations between orthopaedic disturbances and unilateral crossbite in children with asymmetry of the upper cervical spine*. Eur J Orthod 2007; 29(1): p. 100-104
60. Krämer J, Grifka J: *Orthopädie, Unfallchirurgie*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2007: p. 138
61. Lanska DJ: *Nineteenth-century contributions to the mechanical recording of postural sway*. Arch Neurol 2001; 58(7): p. 1147-1150
62. LeClair K, Riach C: *Postural stability measures: what to measure and for how long*. Clin Biomech 1996; 11(3): p. 176-178
63. Linder-Aronson S: *Adenoids. Their effect on mode of breathing and nasal airflow and their relationship to characteristics of the facial skeleton and the denition. A biometric, rhino-manometric and cephalometro-radiographic*

- study on children with and without adenoids. Acta Otolaryngol Suppl* 1970; 265: p. 1-132
64. Lippold C, Ehmer U, van den Bos L: *Beziehungen zwischen kieferorthopädischen und orthopädischen Befunden. Manuelle Medizin* 2000; 38(6): p. 346-350
 65. Lippold C, Segatto E, Végh A, Drerup B, Moiseenko T, Danesh G: *Sagittal back contour and craniofacial morphology in preadolescents. Eur Spine J* 2010; 19(3): p. 427-434
 66. Lippold C, Stamm T, Meyer U, Vegh A, Moiseenko T, Danesh G: *Early treatment of posterior crossbite - a randomised clinical trial. Trials* 2013; 14(20)
 67. Lotzmann U, Steinberg JM: *Klinische Anwendung der Kistler-Messplattform zur computergestützten Posturographie im Rahmen einer funktionsdiagnostischen Vergleichsstudie. ZWR* 1993; 102(8): p. 535-545
 68. Lukanowa-Skopakowa K: *Zahn-Kiefer-Deformierungen und Verkrümmungen der Wirbelsäule. Fortschr Kieferorthop* 1987; 48(5): p. 429-435
 69. Maetzler M, Bochdansky T, Abboud RJ: *Normal pressure values and repeatability of the Emed® ST2 system. Gait Posture* 2010; 32(3): p. 391-394
 70. Malandris M, Mahoney EK: *Aetiology, diagnosis and treatment of posterior cross-bites in the primary dentition. Int J Paediatr Dent* 2004; 14(3): p. 155-166
 71. Melsen B, Stensgaard K, Pedersen J: *Sucking habits and their influence on swallowing pattern and prevalence of malocclusion. Eur J Orthod* 1979; 1(4): p. 271-280
 72. Mertensmeier I, Diedrich P: *Der Zusammenhang von Halswirbelsäulenstellung und Gebißanomalien. Fortschr Kieferorthop* 1992; 53(1): p. 26-32

73. Michelotti A, Buonocore G, Farella M et al.: *Postural stability and unilateral posterior crossbite: is there a relationship?* Neuroscience Letters 2006; 392(1-2): p. 140-144
74. Michelotti A, Farella M, Buonocore G, Pellegrino G, Piergentili C, Martina R: *Is unilateral posterior crossbite associated with leg length inequality?* Eur J Orthod 2007; 29(6): p. 622-626
75. Mitchell SW, Dercum FX: *Nervous Diseases and their Treatment: general considerations. In: Dercum FX (Hrsg): A Text-book on Nervous Diseases by American Authors. Lea Brothers & Co, Philadelphia, PA 1895: p. 2-39*
76. Müller-Wachendorff R: *Untersuchungen über die Häufigkeit des Auftretens von Gebißanomalien in Verbindung mit Skelettdeformierungen mit besonderer Berücksichtigung der Skoliosen. Fortschr Kieferorthop 1961; 22(4): p. 399-408*
77. Nault ML, Allard P, Hinse S et al.: *Relations between standing stability and body posture parameters in adolescent idiopathic scoliosis. Spine 2002; 27(17): p. 1911-1917*
78. Norris C: *Posture. In: Back Stability - Integrating Science and Therapy. Human Kinetics, Champaign, USA 2008: p. 71-87*
79. Ohlendorf D, Büntemeyer B, Filmann N, Schwesig R, Kopp S: *Posturographische Untersuchungen bei Kindern und jungen Erwachsenen mit und ohne Kreuzbiss. Manuelle Medizin 2009; 47(1): p. 33-38*
80. Perinetti G: *Dental occlusion and body posture: No detectable correlation. Gait Posture 2006; 24(2): p. 165-168*
81. Perinetti G, Contardo L, Silvestrini-Biavati A, Perdoni L, Castaldo A: *Dental malocclusion and body posture in young subjects: A multiple regression study. Clinics 2010; 65(7): p. 689-695*
82. Pinganaud G, Bourcier F, Buisseret-Delmas C, Buisseret P: *Primary trigeminal afferents to the vestibular nuclei in the rat: existence of a collateral projection to the vestibulo-cerebellum. Neurosci Lett 1999; 264(1-3): p. 133-136*

83. Pinto AS, Buschang PH, Throckmorton GS, Chen P: *Morphological and positional asymmetries of young children with functional unilateral posterior crossbite*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2001; 120(5): p. 513-520
84. Prager A: *Vergleichende Untersuchungen über die Häufigkeit von Zahnstellungs- und Kieferanomalien bei Patienten mit Deformitäten der Wirbelsäule*. Fortschr Kieferorthop 1980; 41(2): p. 163-168
85. Raymakers JA, Samson MM, Verhaar H: *The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s)*. Gait Posture 2005; 21(1): p. 48-58
86. Riach CL, Starkes JL: *Stability limits of quiet standing postural control in children and adults*. Gait Posture 1993; 1(2): p. 105-111
87. Rival C, Ceyte H, Olivier I: *Developmental changes of static standing balance in children*. Neurosci Lett 2005; 376(2): p. 133-136
88. Røgind H, Lykkegaard JJ, Bliddal H, Danneskiold-Samsøe B: *Postural sway in normal subjects aged 20–70 years*. Clin Physiol and Funct Imaging 2003; 23(3): p. 171-176
89. Ruggiero DA, Ross CA, Reis DJ: *Projections from the spinal trigeminal nucleus to the entire length of the spinal cord in the rat*. Brain Res 1981; 225(2): p. 225-233
90. Ruhe A, Fejer R, Walker B: *The test–retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions – A systematic review of the literature*. Gait Posture 2010; 32(4): p. 436-445
91. Sakaguchi K, Mehta NR, Abdallah EF et al.: *Examination of the relationship between mandibular position and body posture*. Cranio 2007; 25(4): p. 237-249
92. Salavati M, Hadian MR, Mazaheri M et al.: *Test–retest reliability of center of pressure measures of postural stability during quiet standing in a group with musculoskeletal disorders consisting of low back pain, anterior cruciate ligament injury and functional ankle instability*. Gait Posture 2009; 29(3): p. 460-464

93. Samman N, Tong AC, Cheung DL, Tideman H: *Analysis of 300 dentofacial deformities in Hong Kong*. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1992; 7(3): p. 181-185
94. Santos BR, Delisle A, Larivière C, Plamondon A, Imbeau D: *Reliability of centre of pressure summary measures of postural steadiness in healthy young adults*. Gait Posture 2008; 27(3): p. 408-415
95. Schellhammer S: *Bewegungslehre - Motorisches Lernen aus Sicht der Physiotherapie*. 1. Auflage. Urban & Fischer, München 2002: p. 36-39, 125-134
96. Schleswig R: *Das posturale System in der Lebensspanne*. Verlag Dr. Kovac, Hamburg 2006: p. 104-122
97. Schroder U, Schroder I: *Early treatment of unilateral posterior crossbite in children with bilaterally contracted maxillae*. Eur J Orthod 1984; 6(1): p. 65-69
98. Schupp W, Zernial P: *Diagnostik und Therapie in der Kieferorthopädie unter gesamtheitlichen Aspekten*. Quintessenz 1997; 48: p. 949-963
99. Severt TR, Proffit WR: *The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina*. Int J Adult Orthodon Orthognath Surg 1997; 12(3): p. 171-176
100. Sforza C, Tartaglia GM, Solimene U, Morgun V, Kaspranskiy RR, Ferrario VF: *Occlusion, Sternocleidomastoid Muscle Activity, and Body Sway: A Pilot Study in Male Astronauts*. Cranio 2006; 24(1): p. 43-49
101. Sherafat S, Salavati M, Ebrahimi Takamjani I et al.: *Intrasession and Intersession Reliability of Postural Control in Participants With and Without Nonspecific Low Back Pain Using the Biodex Balance System*. J Manipulative Physiol Ther 2013; 36(2): p. 111-118
102. Solow B, Tallgren A: *Dentoalveolar morphology in relation to craniocervical posture*. Angle Orthod 1977; 47: p. 157-164

103. Sonnesen L, Bakke M, Solow B: *Bite force in pre-orthodontic children with unilateral crossbite*. Eur J Orthod 2001; 23(6): p. 741-749
104. Sterzik G, Graßhoff H, Lentschow B: *Morphologische Verknüpfungen von Eugnathien, Gebißenanomalien der Klasse II/1 und Klasse III mit Veränderungen der Topographie der Halswirbelsäule im Fernröntgenseitenbild*. Fortschr Kieferorthop 1992; 53: p. 69-76
105. Tardieu C, Dumitrescu M, Giraudeau A, Blanc J, Cheynet F, Borel L: *Dental occlusion and postural control in adults*. Neurosci Lett 2009; 450(2): p. 221-224
106. Thilander B, Wahlund S, Lennartsson B: *The effect of early interceptive treatment in children with posterior cross-bite*. Eur J Orthod 1984; 6(1): p. 25-34
107. Tong, Jasper W. K., Kong PW: *Reliability of footprint geometric and plantar loading measurements in children using the Emed® M system*. Gait Posture 2013; 38(2): p. 281-286
108. Vegh A, Fabian G, Jianu R, Segatto E: *Orofacial characteristics of adolescents with diagnosed spinal disorders*. Biomed Tech 2012; 57(1): p. 65-69
109. Wachsmann K: *Über den Zusammenhang der Gebißenanomalien mit Krümmungen der Wirbelsäule und schlaffer Körperhaltung*. Fortschr Kieferorthop 1960; 21(4): p. 449-453
110. Wada M, Sunaga N, Nagai M: *Anxiety affects the postural sway of the antero-posterior axis in college students*. Neurosci Lett 2001; 302(2-3): p. 157-159
111. Wakano S, Takeda T, Nakajima K, Kurokawa K, Ishigami K: *Effect of experimental horizontal mandibular deviation on dynamic balance*. J Prosthodont Res 2011; 55(4): p. 228-233
112. Wen L, Yan W, Yue Z, Bo D, Xiao Y, Chun-Ling W: *Study of Condylar Asymmetry in Angle Class III Malocclusion With Mandibular Deviation*. J Craniofac Surg 2015; 26(3): p. e264-268

113. You KH, Lee KJ, Lee SH, Baik HS: *Three-dimensional computed tomography analysis of mandibular morphology in patients with facial asymmetry and mandibular prognathism*. Am J Orthod Dentofacial Orthop 2010; 138(5): p. 540.e1-8
114. Zhou S, Yan J, Da H et al.: *A correlational study of scoliosis and trunk balance in adult patients with mandibular deviation*. PloS one 2013; 8(3): p. e59929
115. Zhu JF, Crevoisier R, King DL, Henry R, Mills CM: *Posterior crossbites in children*. Compend Contin Educ Dent 1996; 17(11): p. 1051-1058
116. Zok M, Mazzà C, Cappozzo A: *Should the instructions issued to the subject in traditional static posturography be standardised?* Med Eng Phys 2008; 30(7): p. 913-916

8. Anhang

8.1 Ergebnisse der Post-Hoc Analysen

Tabelle 12: Statistische Ergebnisse der Post-Hoc Verfahren für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit skelettaler Klasse I, II und III.

	Messparameter	Signifikanz		
		Skel. Kl. I vs. Skel. Kl. II	Skel. Kl. II vs. Skel. Kl. III	Skel. Kl. I vs. Skel. Kl. III
Augen geschlossen	Körperschwankung	0,059	0,002**	0,059

Tabelle 13: Statistische Ergebnisse der Post-Hoc Verfahren für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit Angle-Klasse I, II und III.

	Messparameter	Signifikanz		
		Angle-Kl. I vs. Angle-Kl. II	Angle-Kl. II vs. Angle-Kl. III	Angle-Kl. I vs. Angle-Kl. III
Augen geschlossen	Körperschwerpunkt sagittal	0,723	0,013*	0,034*

Tabelle 14: Statistische Ergebnisse der Post-Hoc Verfahren für den Gruppenvergleich zwischen Probanden mit transversaler Regelverzahnung, unilateralem Kreuzbiss links und unilateralem Kreuzbiss rechts.

	Messparameter	Signifikanz		
		Kein KB vs. KB Rechts	KB Rechts vs. KB Links	Kein KB vs. KB Links
Augen geöffnet	Körperschwerpunkt lateral	0,598	0,182	0,021*
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	0,298	0,001***
Augen geschlossen	Körperschwerpunkt lateral	0,060	0,992	0,183
	Körperschwerpunkt sagittal	0,001***	0,779	0,001***
	Körperschwankung	0,020*	0,568	0,018*

8.2 Abkürzungsverzeichnis

ALARA	As low as reasonably achievable
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
COG	Center of Gravity (Körperschwerpunkt)
COP	Center of Pressure (Druckmittelpunkt)
DGKFO	Deutsche Gesellschaft für Kieferorthopädie
Dr. med. dent	Doktor medicinae dentariae
et al.	et alii (und andere)
FA	Firma
FRS	Fernröntgenseitenbild
ICC	Intraclass Correlation Coefficient
KB	Kreuzbiss
m.	Musculus
mm	Millimeter
N	Newton
p	Signifikanzwert
PB	Prämolarenbreite
Prof.	Professor
r	Korrelationskoeffizient
UKGM	Universitätsklinikum Gießen und Marburg
WITS	WITS appraisal nach Jacobson
z.B.	zum Beispiel

8.3 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer an der Philipps-Universität in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten (ohne akademischen Grad in alphabetischer Reihenfolge):

Arweiler, Ausschill, Cetin, Czubayko, Feuser, Fischer, Frankenberger; Gente, Gloerfeld, Hellak, Höffken, Jablonski-Momeni; Jacob, Kanngießer, Koolmann, Korbmacher-Steiner, Kuhl, Lamp, Lill, Lotzmann, Maier, Mandic, Mandrek, Mengel, Milani, Mittag, Moll, Mutters, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Ohnmeiß, Steininger, Pieper, Ramaswamy, Rausch, Richter, Roessler, Roggendorf, Teymoortash, Weber, Westermann, Wilhelm, Wrocklage.

8.4 Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner für die wissenschaftliche Betreuung und Begleitung dieser Dissertation. Ich danke ebenfalls Dr. Michael Schauseil für die stets schnelle Rückmeldung und Unterstützung bei Fragen. Ich danke Dr. Maren Ohnmeiß für die anfängliche Erarbeitung des Themas und ihre motivierenden Worte. Ebenso gilt mein Dank Prof. Dr. Ulrich Lotzmann und der Abteilung für Prothetik für die Bereitstellung der zebris-Messplattform für die Studie.

Ganz besonders danke ich allen wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, zahnmedizinischen Fachangestellten sowie den Sekretärinnen der Abteilung für Kieferorthopädie für die gute Koordination und Zusammenarbeit, ohne die die Durchführung dieser Studie nicht möglich gewesen wäre.

Ich danke meiner Familie, insbesondere meinem Vater, für ihre aufbauenden Worte und ihr Verständnis. Abschließend möchte ich mich bei allen meinen Kommilitonen für das schöne und kollegiale Studium bedanken.